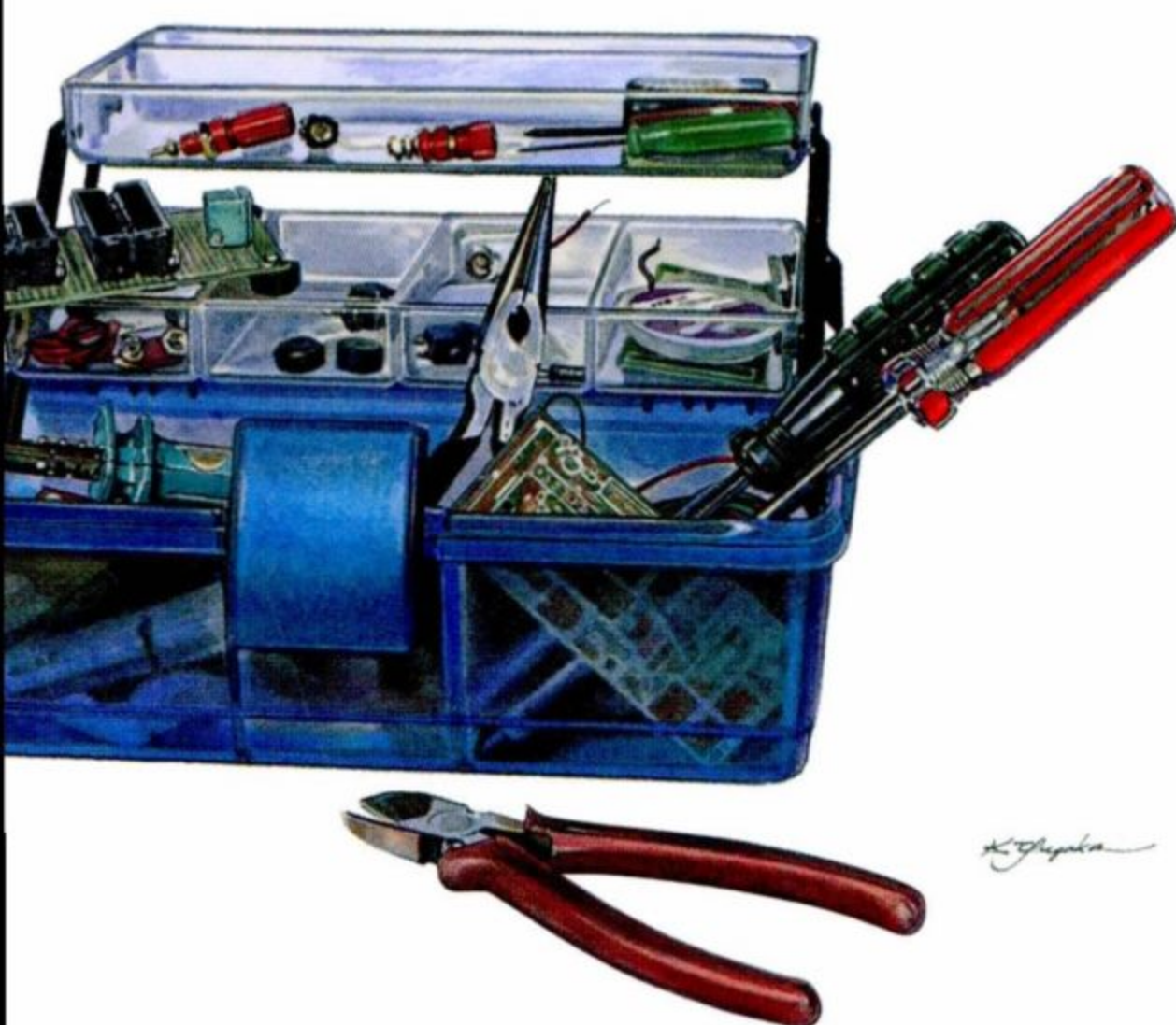
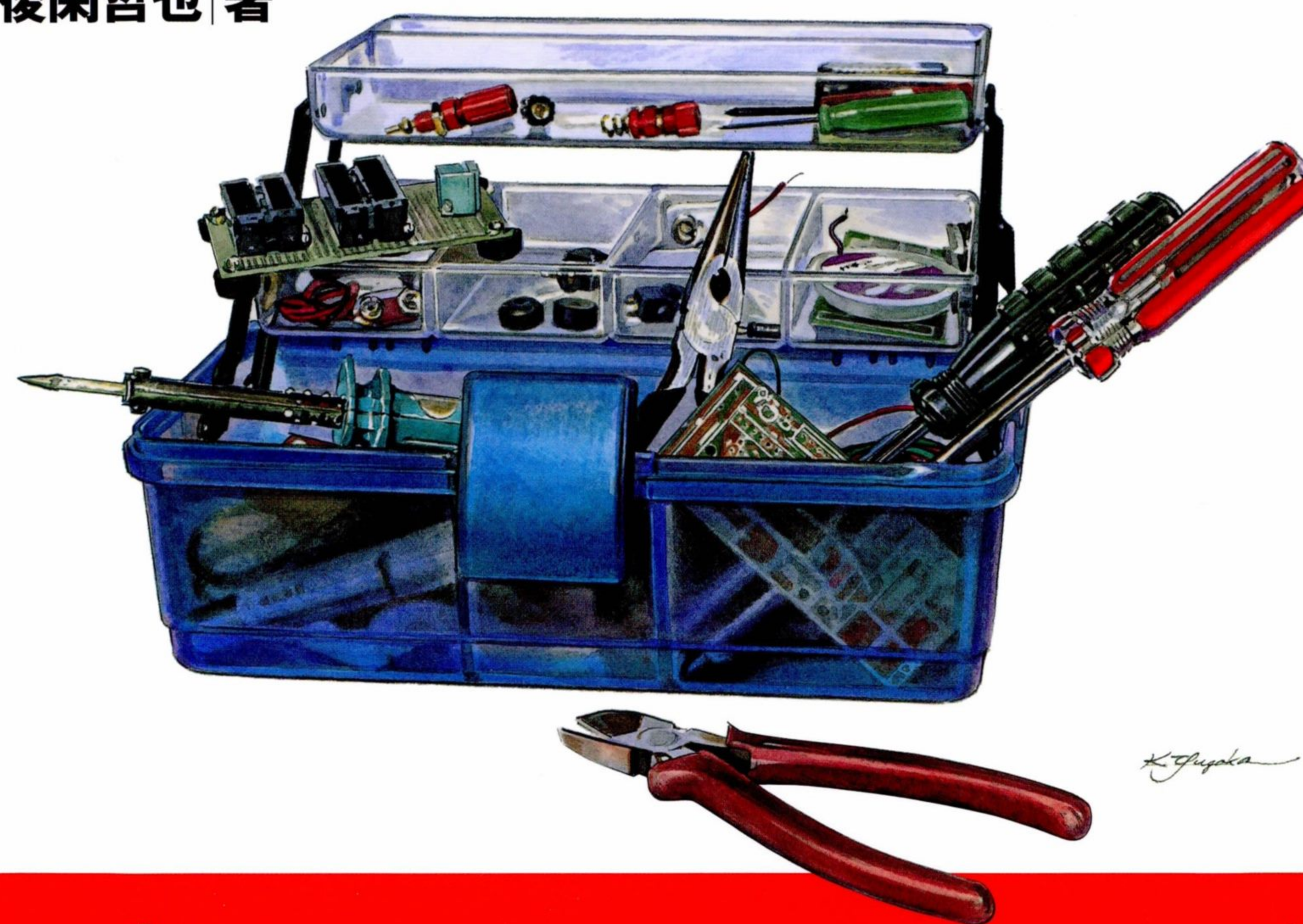
978-4-7741-3078-1　C3055 ¥2580E
(本体2580円十税)　M-code 417551
9784774130781
1923055025806

できる 電子工作入門』(弊社刊)を全面リニューアル！
礎入門 電子工作の素』として新たにデビューしました。
く使われるようになった電子部品や機器、
表面実装部品の使い方にも触れています。

趣味としてきた電子工作のノウハウを集めたものです。…このような電子
足させてくれる知的な遊びとして、またこれからますます発展する電子工学
と思います。…本書が少しでもお役に立てば幸いです。

作る、できる／基礎入門
電子工作の素
後閑哲也　著
技術評論社

作る、できる／基礎入門
電子工作の素(もと)

後閑哲也｜著

勘所がつかめる、基本がわかる！

工作名人のテクニック、ノウハウを満載した、
実際に使うための「道具」としての書物です。
「電子工作の素」がぎっしり詰まっています。

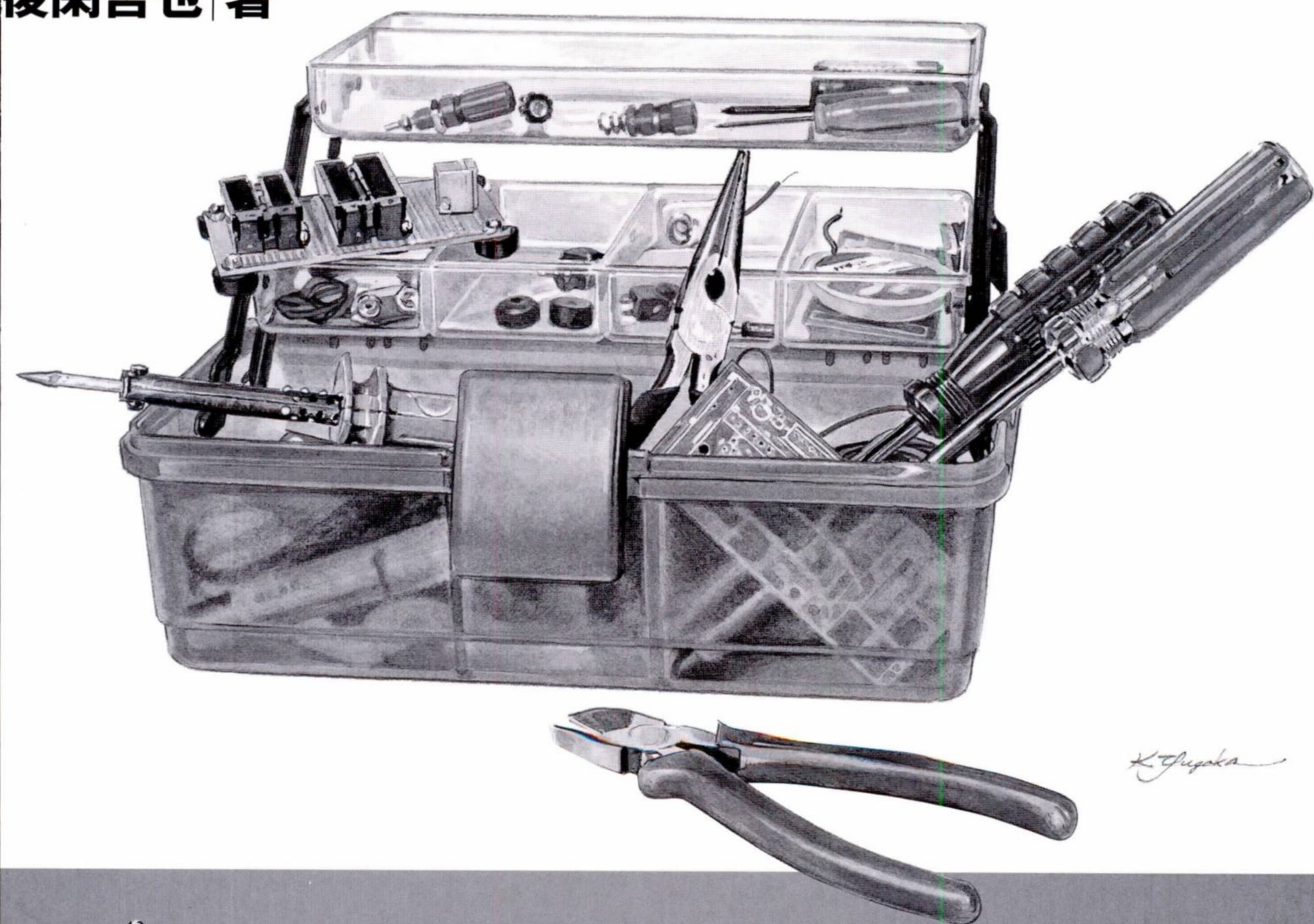
技術評論社

作る、できる／基礎入門
電子工作の素(もと)

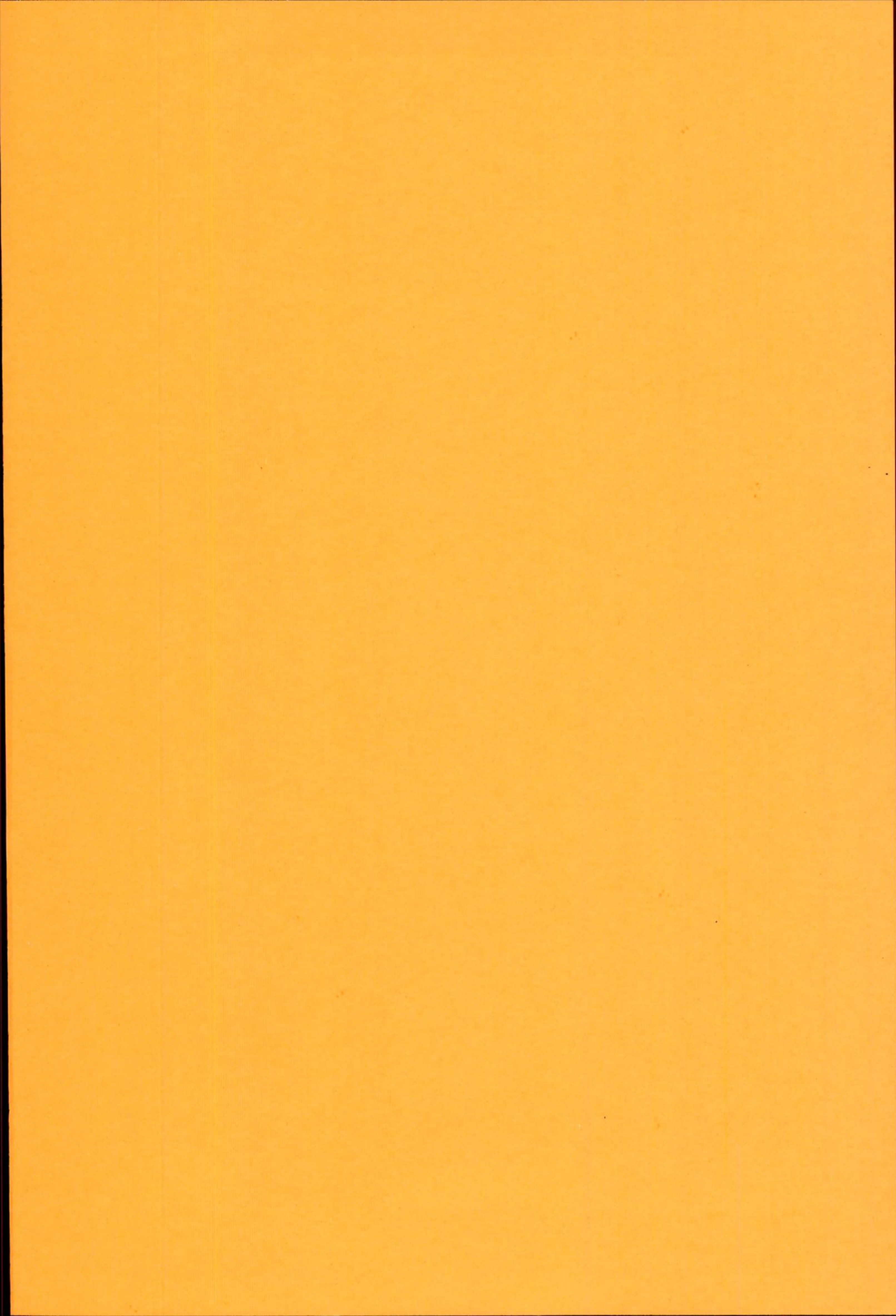
実際に作るために必要な部品の知識、回路図の読み方、プリント基板の作り方、工作道具の使い方から加工、製作まで詳しく解説しています。ノウハウを満載した、実際に使うための「道具」としての書物です。電子工作の素がぎっしり詰まっています。
なお本書は好評の『誰にでも手軽にできる　電子工作入門』(弊社刊)を全面リニューアルしたものです。情報を更新(最新の電子部品や機器・ツールに差し替え)し、表面実装部品のはんだ付けの仕方など、新しい技術の解説を追加し、さらに誌面を刷新(サポート解説：「常識」「用語解説」「アドバイス」「注意点」などを掲載)しました。
入門者にもやさしく、もちろんホビーユーザ、学生、エンジニアにも満足できる一冊です。

【本書の内容】

作る、できる／基礎入門

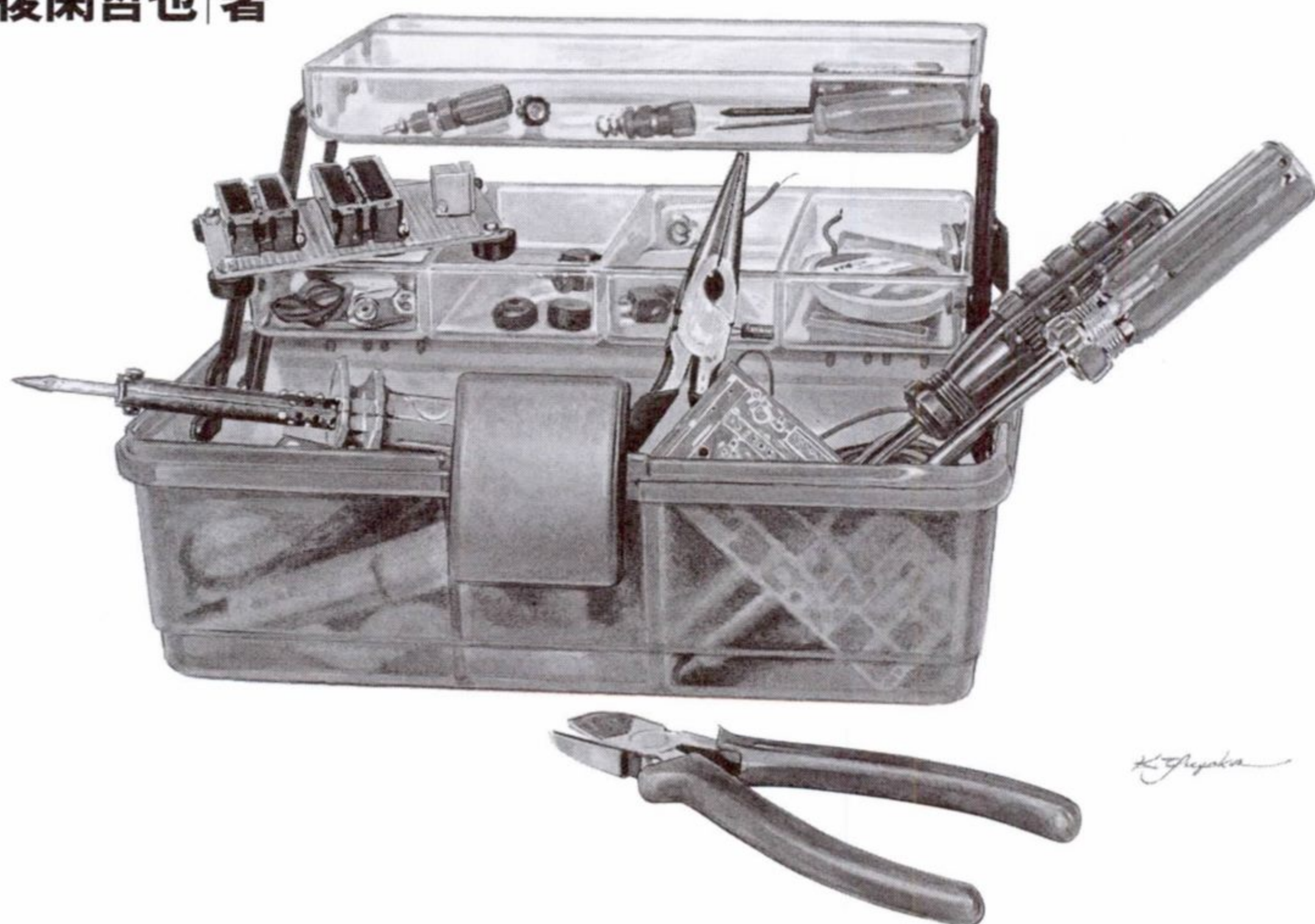
もと
電子工作の素

後閑哲也｜著

勘所がつかめる、基本がわかる！

工作名人のテクニック、ノウハウを満載した、
実際に使うための「道具」としての書物です。
「電子工作の素」がぎっしり詰まっています。

技術評論社

作る、できる／基礎入門

電子工作の素（もと）

後閑哲也｜著

技術評論社

本書の製作に使用した製品、部品は 2007 年 3 月現在の情報です。

まえがき

前作**「誰にでも手軽にできる 電子工作入門」**を発刊してから6年が経ち、この間の電子部品の進歩は著しく、紹介した部品が廃品となったり、新しい回路方式が使われるようになるなど内容が現状に合わなくなってしまいました。

そこで、内容を一新し、最新の情報に更新しました。古くなった部分は削除し、とくに最近よく使われるようになったオペアンプなどのアナログ回路や、スイッチング電源の設計法についてより詳しくするとともに、読者から要望の多かった回路図やプリント基板パターン図の作成ツールの使い方も、「Eagle」というフリーソフトウェアのツールに更新しました。さらに表面実装部品の使い方も追加しました。

本書は、これから電子工作を始めたいと考えている方々に少しでも役立てばと、筆者自身が子どもの頃から趣味としてきた電子工作のノウハウを集めたものです。したがって、難しい回路理論やら動作原理などはできるだけ省略し、まずは自分の手で作って動かしてみるために必要なことを説明しています。実際に作るために必要な部品の知識、回路図作成法、プリント基板の作り方、工作道具の使い方など実際に使える「道具」としての書物にしました。最近では多くの方がパーソナルコンピュータをお持ちですので、本書ではパソコンを電子工作のための道具としてフル活用しています。

まずは本書で電子工作を始めてください。次のステップでいろいろな応用回路を試してみようということになって頂ければ、それらについては既に数多くの解説書が出版されていますので、動作原理や回路設計方法など、より深く学ぶことができると思います。

このような電子工作の世界は、知識欲を充分に満足させてくれる知的な遊びとして、また、これからますます発展する電子工学の基礎を学ぶためにも最適なものだと思います。

自分が作った小さなラジオで音楽でも聞きながらウォーキングを楽しんだり、自作のステレオで好きな音楽を聞くなど、何ともいえない満足感のある世界です。この素晴らしい電子工作を始めるために本書が少しでもお役に立てば幸いです。

本書は、筆者が趣味として続けている電子工作の製作内容を記録したホームページから生まれました。本書と共に下記ホームページをご覧頂けばより多くの情報が得られるものと思います。

http://www.picfun.com/

末筆になりましたが、本書の内容をよりわかりやすくする努力をしていただいた、技術評論社の淡野正好さんに大いに感謝いたします。

2007年3月　　後閑　哲也

目　次

第1章

電子工作の常識

電子工作を自分で思うままに設計し、作り、完成させたいと思うのは誰しもですが、いきなりできるわけでもありません。そこにはやはりノウハウがあり、基本的に知っていなければならないこともたくさんあります。

そこでまずは、電子工作を始めるのに最低限必要とされる常識について説明していきます。これだけは知っていないと電子工作は始まらないという事柄ですが、大したことはありません、つまり常識です。

1-1 「電子工作」ってなに？

電子工作の「電子」とは何のことでしょうか。ここで意味している電子とは、物質の原子核に含まれている電子そのものを意味しています。

もともと電気を使う工作なのですから「電気工作」と呼ばれてもよいのではないかと思うのですが、なぜ「電子」と呼ばれるのでしょうか。

この言葉が使われるようになった背景には、「真空管」から始まり「**半導体素子**」への急速な進歩と、その圧倒的な広がりにあります。つまりこれらの素子の進歩は、その中で動き回る「電子の振舞い」の研究の成果であり、電子そのものの動きを把握できるようになったことで、次々に新しい半導体素子を産み出すことができるようになりました。

電子工作はそうやって新たに生まれた半導体素子を使った工作であることから**電子工作**と呼ばれるようになりました。したがって、これからご紹介する電子工作の作品は、全て半導体素子を使ったものとなっています。

ではこの半導体素子と呼ばれるものにはどんなものが含まれるのでしょうか。これはもう、全部を挙げたらきりがないほど最近では多種類の素子があります。その中でも、我々が電子工作で使うものは主に表1.1.1のようなものです。それぞれの特性や機能、使い方については後の章で詳しく説明していきます。

◆表 1.1.1 半導体素子の種類

名　称	特性、機能	用　途
ダイオード	電気を一方向だけ通す	整流：交流を直流に変換する 検波：変調された高周波に含まれる低周波を取り出す
トランジスタ	電流を増幅する	アンプ　：微小な信号を大きくする ドライブ：わずかな信号で大きな電流を制御する
光半導体 発光ダイオード 受光ダイオード 半導体レーザ等	発光、受光 画像取得	デジタルカメラ、ロボットなどのセンサ 通信用発光、受光素子 計測用高精度アンプ 安定化電源、ステレオアンプ
アナログIC	アンプなど多くの機能をICとして実装	高性能ラジオ受信機 制御装置、計算機
デジタルIC	論理回路を構成	家電機器、ロボット、パソコンなどの処理
マイクロコンピュータ	演算機能やメモリ機能	装置 ロボット、制御装置などの検出器、測定装置
各種センサ	光、温度、加速度、磁気などの検出	

これらの半導体素子をもとにして電子工作を進めていきます。本当なら自分ですべて設計できればそれに越したことはありませんが、全部を知ることは大変です。しかし実は、電子回路には標準的なパターンがいくつもあり、実際に新しい何かを作るときでも、それらの標準回路のほんの一部を変えたり、組み合わせたりするだけで大部分ができることが多いものです。

常識
標準的な回路を知識の中にどれだけ持っているかがポイント。

したがって、電子工作を自由に設計するためには、すでに設計済みの回路を自

分の知識の中にどれだけ持っているかがポイントになります。

この知識を得るには、まずは他人の作った回路を真似て作り動かしてみることから始まります。そうやって製作を楽しんでいるうちにどんどん標準回路が頭に入っていき、やがて新たなものを作るときでもその標準回路をベースにして自分で考え出すことができるようになります。

最近ではICが高性能化し、ほとんど基本的な設計をしなくとも機能や性能を満足するものができるようになってしまいました。

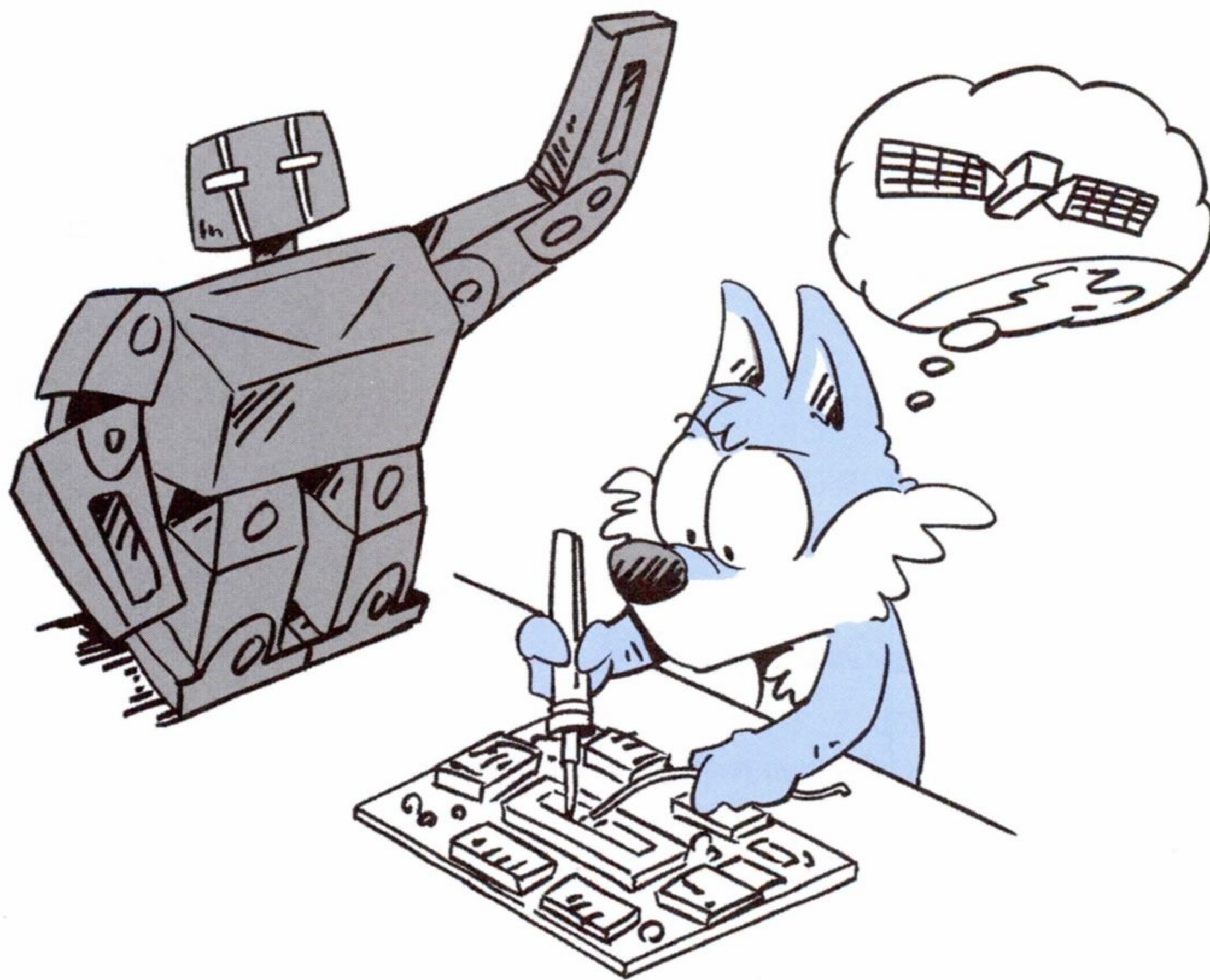
それでも、やはり作ったものが動かないとき、ちょっとした付加回路を付けたいときや新しいアイデアを実現したいときなどには、この標準回路が有効にきいてきます。

そこで電子工作の常識は、「まずは真似して作る」ことです。本に掲載された記事を自分で試してみたり工作キットで作ったりしながら、できるだけ多くの標準回路を身につけることで、自由に電子工作を楽しめるようになるのです。

本書は、これらの標準回路そのものについては多くを説明しません。しかしそれらを実際に自作するときに分からないこと、製作上取り付きにくいことを説明することで、新たに電子工作を始めようという方々の障壁を少しでも減らすようにする目的で書きました。

常識

まずは回路を真似て作り、動かしてみる。キットからはじめてもかまわないので、とにかく製作する。

製作を楽しんでいるうちに、どんどん標準回路が頭に入っていき、やがて新たなものを作るときにその標準回路をベースにして自分で考え出すことができるようになる。

1-2 回路図の見方・書き方

電子回路の働きを他の人に伝え、同じものを作れるようにするためのいわば「言葉」が**回路図**です。したがって回路図が読めないと、言葉がわからないのと同じで内容を理解することはできません。

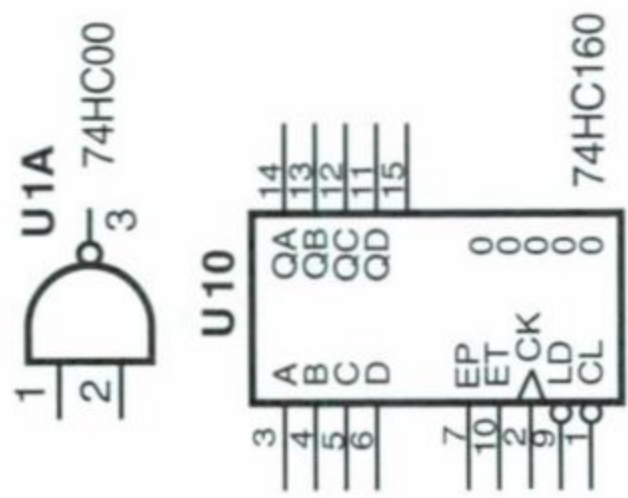
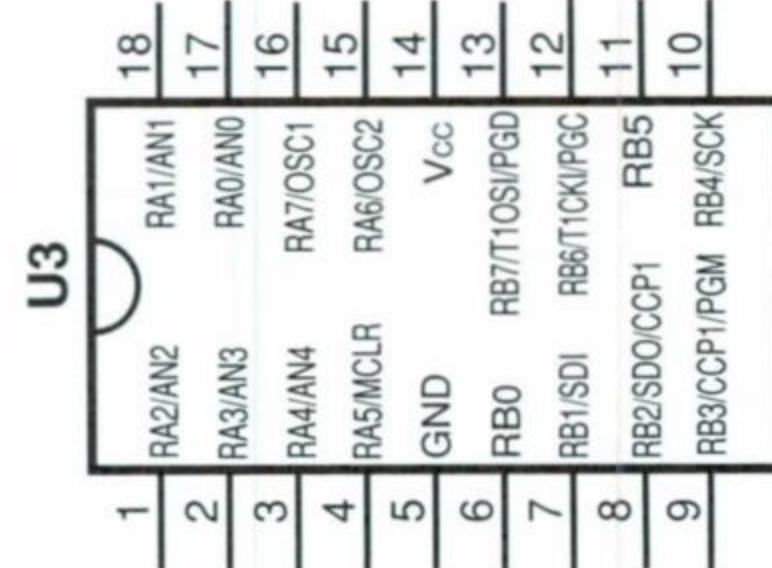
電子回路を趣味で始める場合でも、本当は自分で最初から設計できればよいのですが、アマチュアではそこまで全部はなかなかできません。そこで先人の作ったものを利用することになりますが、この場合でも、回路図が読めるのと読めないのでは利用して実現する範囲に圧倒的な差が出てしまいます。そこでまず回路図が読め、描けるようにしましょう。

1-2-1 回路図の基本的な要素

電子回路を図として表現し内容を伝えるため、回路図には基本的に下記のような内容が表現されています。

① 使っている部品の区別
② 部品の種別、定数値
③ 部品同士の接続関係

たったこれだけの内容ですから誰でも回路図は見ることができます。しかし、中に使われている部品や記号に基本的な約束事があり、これがもともとわかっていないと回路の働きを理解するのが難しくなってしまいます。いわゆる回路図を見ることができても、読むことができないということになります。

そこで、これだけのことが理解できれば、回路図が読めるようになるということを中心に説明しましょう。

1-2-2 部品の略号と記号

回路図を読めるようにするためには、回路図によく現れる部品の略号と記号についての知識が不可欠です。表1.2.1には、代表的な部品の略号と記号を説明してあります。これ以外にもまだまだたくさんの部品がありますが、表1.2.1は基本的にこれだけ知っていれば大部分の回路図は読めるレベルのものです。個々の部品の詳細については、次の章で説明しますので、ここではこんなものがあるんだという程度で覚えておいてください。

◆表 1.2.1(a)　代表的な電子部品と回路図記号、略号

略号	英文字	日本語	回路図記号	備　考	参照ページ
C	Capacitor, Capacitance	コンデンサ 静電容量	C1 0.01　C3 10 μF	全ての回路で使う、用途により多種類あり	47
D	Diode	ダイオード	D 20 1S953	整流素子、高周波から電源用まで多種類ある	58
IFT	Intermediate Frequency Transformer	中間周波トランス	IFT	高周波回路の段間の同調に使うトランス	125
JFET	Junction Field Effect Transistor	接合型 電界効果トランジスタ	Q3 2SK39	非常に高い入力インピーダンスを持つトランジスタの１種	65
L	Inductor、Inductance	コイル インダクタンス	L1 FCZ7MHz	高周波回路の同調やフィルターとして使う	125
LED	Light Emitting Diode	発光ダイオード	LED5 red	発光する機能を持つダイオード	100
MOS-FET	Metal Oxide Semiconductor - Field Effect Transistor	金属酸化被膜 電界効果トランジスタ	Q6 2SK2231	非常に高い入力インピーダンスを持つトランジスタの１種で、ON抵抗も低いので大電流が扱える	65
OP-AMP	Operational Amplifier	オペアンプ 演算増幅器	3 2 1 U10A LMC662	アナログ増幅回路をIC化したもので汎用素子として多く使われている	76
R	Resistor、Resistance Potentiometer	抵抗器 可変抵抗器	R1 10k　VR2 10k	全ての回路で使う、電圧、電流の変換用	33
RFC	Radio Frequency Choke	高周波チョークコイル	RFC2 10uH	高周波のフィルター用コイル	125
SCR	Silicon Control Rectifier	シリコン制御整流素子	Q5 SCR	On/OFFゲート機能を持つダイオード	123
SW	Switch	スイッチ	S1 SWST PT1	スイッチ	139

◆表 1.2.1(b)

T **PT**	Transformer Power Transformer	**トランス** **電源トランス**	Power Transformer	交流を変圧して2次側に出力する 電源や高周波回路で多く使われる	131
Tr	Transistor	**トランジスタ**	Q1 2SC2458	基本の半導体増幅素子	65
XTAL	Crystal Resonator	**水晶振動子** **クリスタル振動子**	Y1 10MHz	高周波で周波数の安定な発振回路を得るのに使う	109
IC	Digital IC	**デジタルIC**	U1A 74HC00 U10 74HC160	論理回路を構成する集積回路 非常に沢山の種類がある 最近、TTLからCMOSに移行した	89
MCU **PIC**	Micro Processor Micro Computer	**マイクロプロセッサ** **マイクロコンピュータ** **マイコン**	U3 PIC16F818/819	ワンチップ型のマイクロプロセッサが多く使われるようになった	295 308 309 320

1-2-3 電子回路の基本単位

回路図にある部品図の近くにはいろいろな数字と記号が描かれています。この中に部品の値（定数（ていすう））が含まれているのですが、それらには単位が付いています。基本的な単位には表1.2.2が一般に使われます。

参考
・nA（ナノアンペア）
・μA（マイクロアンペア）
・mA（ミリアンペア）
・pF（ピコファラッド）

◆表1.2.2 電子回路の基本単位

電気定数	記号	意味	読み方	よく使う単位
電圧	V	Volt	ボルト	μV、mV、V
電流	A	Ampere	アンペア	nA、μA、mA、A
電力	W	Watt	ワット	μW、mW、W
抵抗	Ω	Ohm	オーム	Ω、kΩ、MΩ
インダクタンス	H	Henry	ヘンリー	μH、mH
静電容量	F	Farad	ファラッド	pF、μF
周波数	Hz	Hertz	ヘルツ	Hz、kHz、MHz、GHz

【注】実際の回路図では、μはuで代用し、Ωは省略することが多い。

さらに、補助単位として表1.2.3のものが多く使われています。大文字と小文字の使い分けも慣用的に表のようにしています。

参考
2mA＝0.002A
2A＝2000mA

◆表1.2.3 補助単位一覧表

記号	単 位	読 み
G	10^{9}	ギガ
M	10^{6}	メガ
k	10^{3}	キロ
m	10^{-3}（0.001）	ミリ
μ	10^{-6}（0.000001）	マイクロ
n	10^{-9}（0.000000001）	ナノ
p	10^{-12}（0.000000000001）	ピコ

1-2-4 回路図の接続と交叉

回路図で部品同士を接続することを表現するために、一般には直線で結びます。このとき混乱するのは、直線同士が交叉（こうさ）しているときの接続です。回路図では一般に交叉した直線は次の条件としています。

① T字交叉は接続されている

行き場のないT字交叉なので直感的に接続されていることはわかるのですが、紛らわしいので、できるだけ黒丸をつけるようにします。

② 十字交叉の場合、交叉点が黒丸なら接続、なければ横切っているだけ

この十字交叉が最も紛らわしいので、接続する交叉はできるだけT字交叉とし、単なる横切る交叉もできるだけ少なくなるように回路図の線の描き方を工夫します。

③ 十字交叉の交叉点で線が弧を描いていれば単に横切るだけ

最近はあまり使われなくなったのですが、十字交叉で明確に接続されていないことを表現しています。

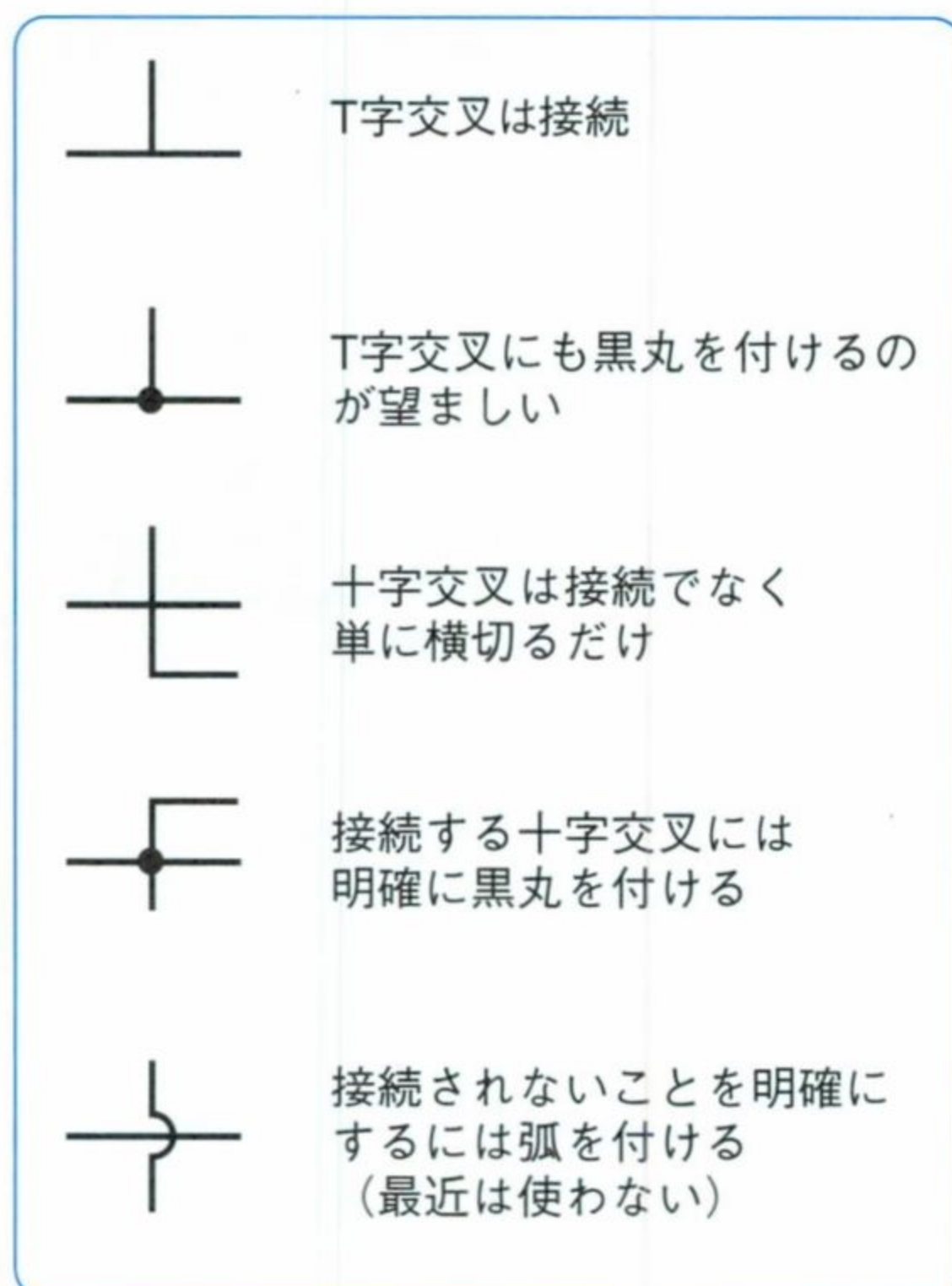
これらを図で表現すると、図1.2.1のようになります。

T字交叉は接続

T字交叉にも黒丸を付けるのが望ましい

十字交叉は接続でなく単に横切るだけ

接続する十字交叉には明確に黒丸を付ける

接続されないことを明確にするには弧を付ける（最近は使わない）

◆図1.2.1　回路図の接続と交叉

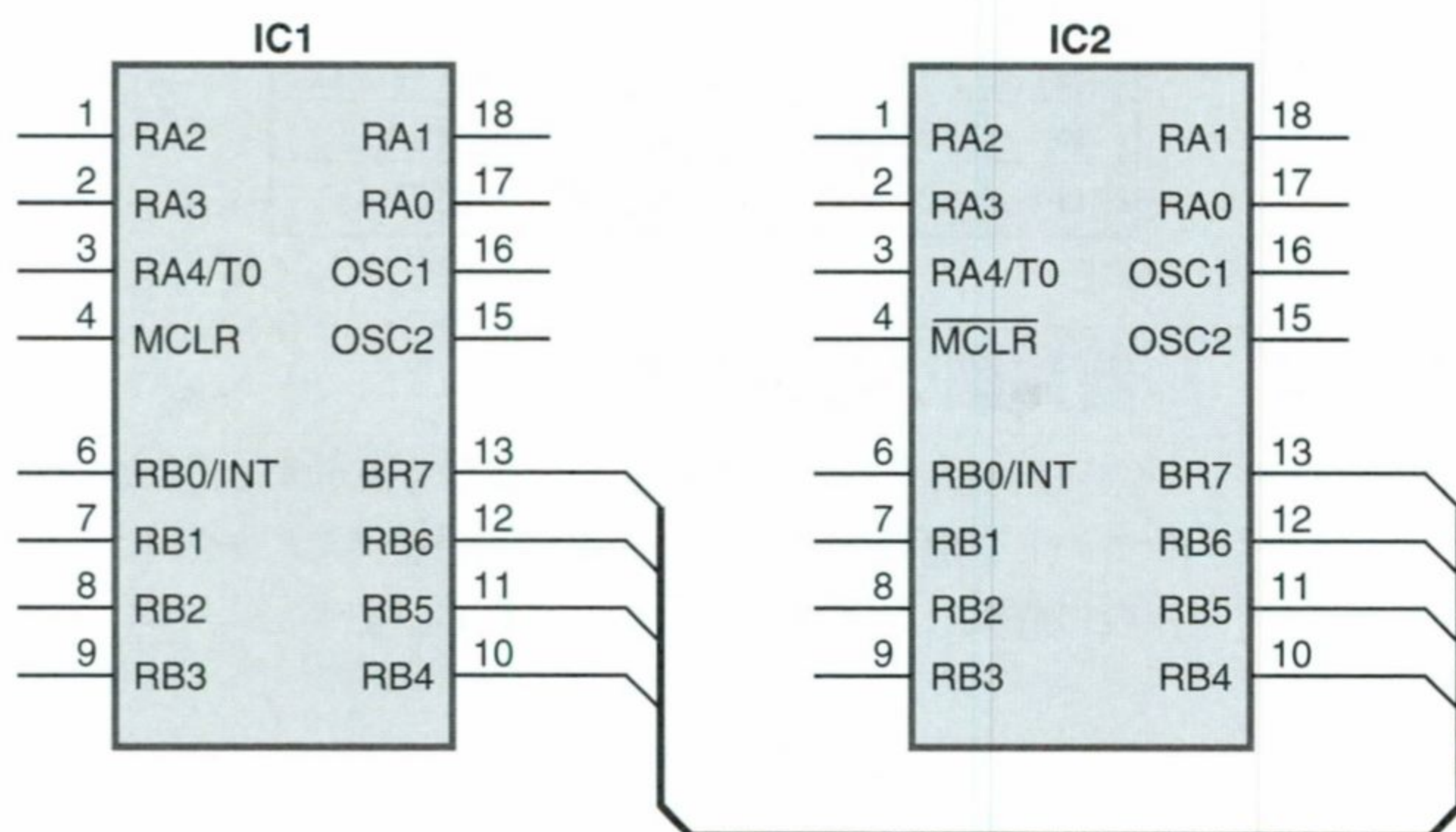
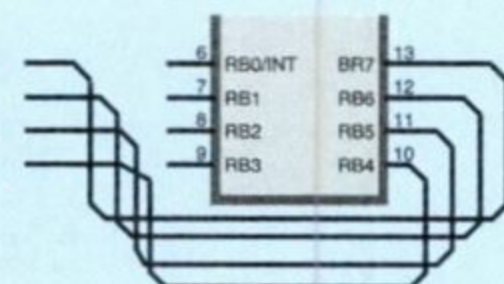
④ まとめた配線（バス配線）

マイクロコンピュータが多く使われるようになってきて、同じ関係の接続線が多数本あるとき、途中の配線をまとめて太線で描くことがあります。これはバス接続と呼ばれ、それぞれ対応する線が1対1で接続されていることを表しています。これは図1.2.2のように回路図を見やすくするために使われます。

IC1

1 RA2　RA1 18
2 RA3　RA0 17
3 RA4/T0　OSC1 16
4 MCLR　OSC2 15
6 RB0/INT　BR7 13
7 RB1　RB6 12
8 RB2　RB5 11
9 RB3　RB4 10

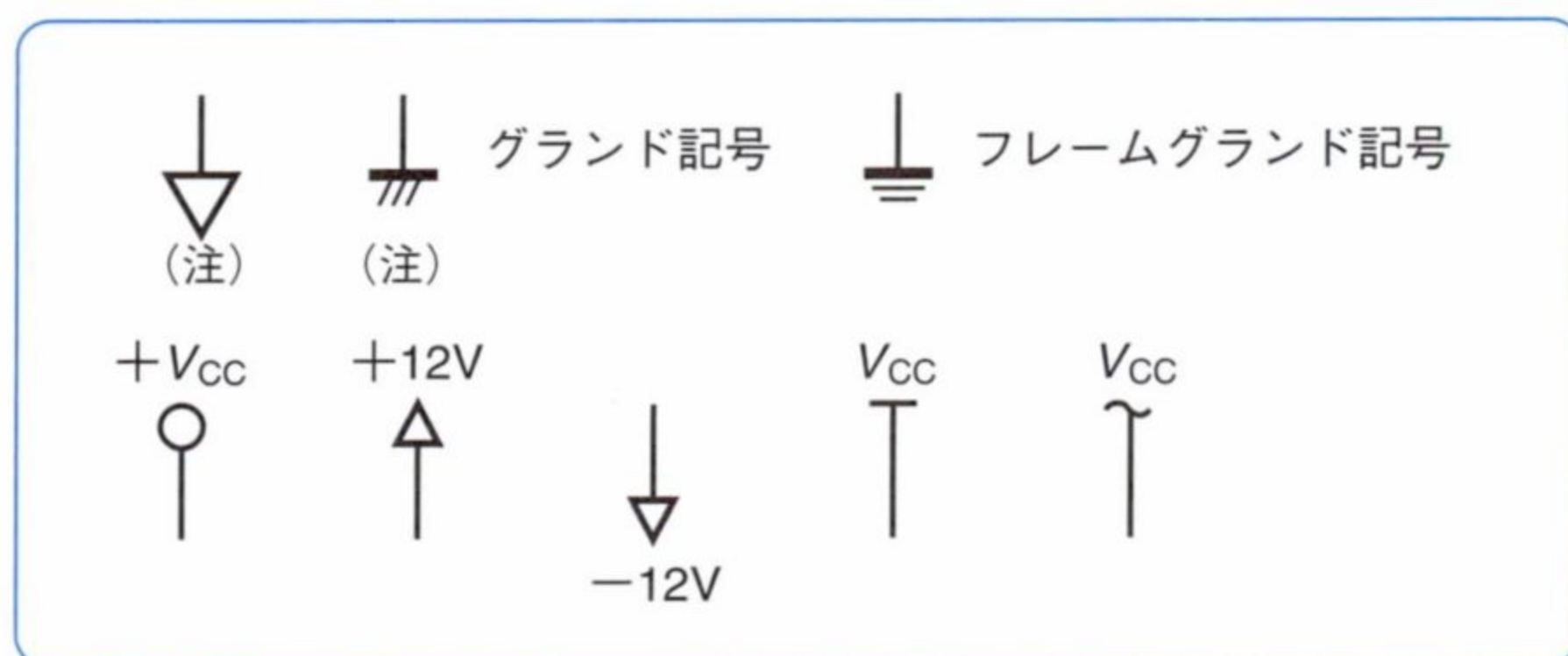
IC2

1 RA2　RA1 18
2 RA3　RA0 17
3 RA4/T0　OSC1 16
4 $\overline{\text{MCLR}}$　OSC2 15
6 RB0/INT　BR7 13
7 RB1　RB6 12
8 RB2　RB5 11
9 RB3　RB4 10

途中は1対1で接続されていることを省略している

◆図1.2.2　バス接続の描き方

1-2-5 電源とグランド

回路図のなかで表現はされていますが、明確に接続することが表現されていないのが電源とグランドです。記号としては幾つか種類がありますが、代表的なのは図1.2.3です。

用語解説
・グランド
電子回路で扱う電気の電位基準点で0Vを示す。アースとか接地とも呼ばれ、基本は大地の電位のことだが、プリント基板のグランドパターンを大地の代わりとして扱う。

グランド記号 フレームグランド記号
(注) (注)
$+V_{CC}$ +12V −12V V_{CC} V_{CC}

(注) JISなどの公的規格でのグランド記号

◆図1.2.3 電源とグランドの回路図記号

これらの記号があった場合、実際にはどこに接続するのでしょうか。基本は、電源記号はすべて電源のプラスまたはマイナスへ、グランド記号はすべて電源のグランド(0V端子)へ接続することになっています。しかしそれ以外にも記号でいろいろ表現があり、次のようにします。

アドバイス
電源記号は「電源のプラス」へ、グランド記号は「電源のマイナス」へ接続します。

① 電源供給

電源記号に5V、－12Vなど電圧値が記入されている場合には、それぞれ電源の5V、－12Vの供給元に接続していることを表しています。また明確に電圧値ではなく、V_{CC}とか+Vとかの記号で表現されているときもあります。このような場合にも、電源の供給元に同じ記号があり、そこと接続されていることを表しています。

用語解説
・フレームグランド
グランドのこと。ケースかシャーシに接続する。

② グランド(GND)

グランドは基本的にすべて電源の0V端子に接続します。特に電源がプラスとマイナスがある場合には、0Vの端子とマイナスを間違えないようにする必要があります。電源が1個の電池の場合には、グランドはマイナス側となります。

さらに、あまり明記されていることは少ないのですが、シールド線が必要な回路のような場合には、フレームグランド記号が描かれていることがあります。フレームグランドの接続先は、ケースかシャーシなどの周囲の筐体に接続し、グランド(0V端子)には接続しないようにします。特に微小な電圧を計測するような回路の場合、フレームグランドをきちんとケースに接続しないとノイズに悩まされることになってしまいます。

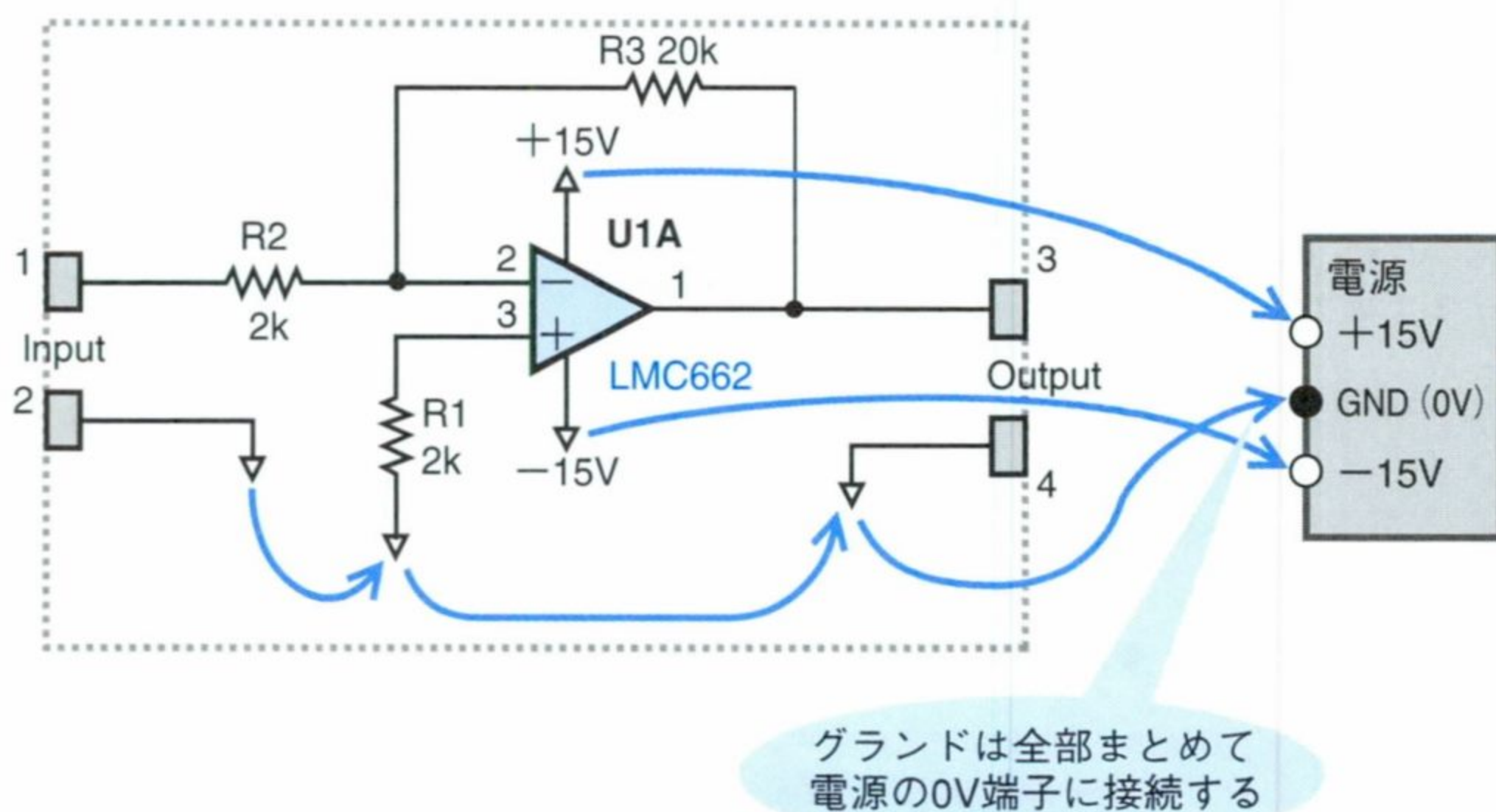
注意
微小な電圧を計測するような回路の場合、フレームグランドをきちんとケースに接続すること。

常識
パターン図に描かれていないデジタルICやオペアンプの配線を忘れないように注意。

③ ICの電源とグランドは省略される

デジタルICやオペアンプの場合には、電源とグランドの接続ピン番号が統一されていて決まっているので、回路図に特に描かないこともしばしばあります。し

たがってパターン図を描くときや、配線するときには忘れないように注意が必要です。

図1.2.4は実際の回路の電源とグランドがどこに接続されるかを表したものですが、特にグランドはグランド記号を全部接続して、電源の0V端子に接続する必要があります。

◆図1.2.4　電源とグランドの実際の接続

1-2-6　その他の常識

回路図を描くうえでその他に習慣となっていることには、次のようなことがあります。

① 信号の流れは左から右へ

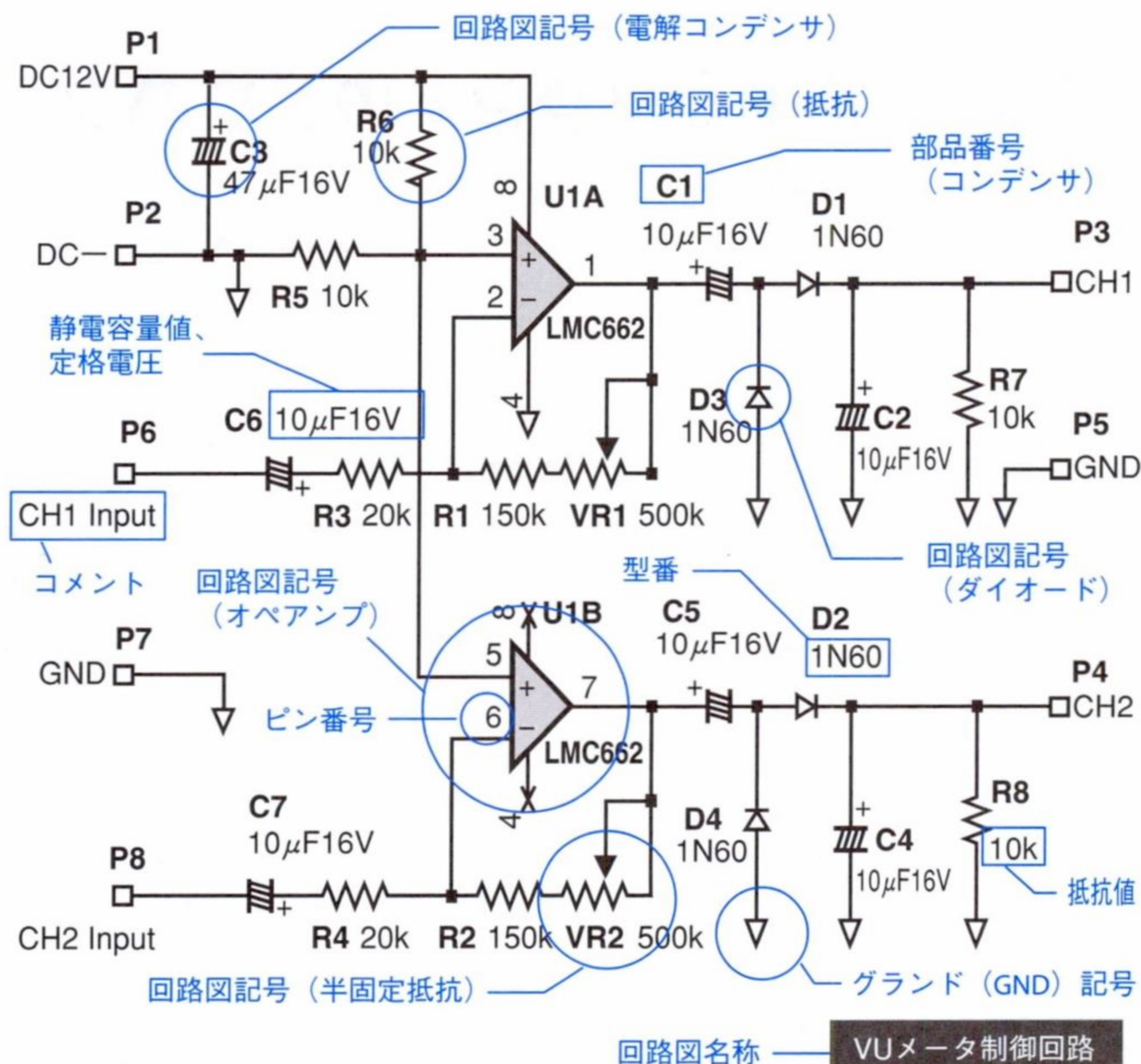
外部からの信号の入力部や、スイッチなど何らかの操作を加えるものはできるだけ左側に描きます。そして、左から右へ順次信号が流れて処理されていくようにします。そして外部に出力される部分が一番右側に来るようにします。

② 電源ラインは上側にグランドは下側に

おおまかにグランドは部品の下側に記号を下向きに描き、電源線は部品の上側に描き、電源記号はやはり上側で上向きに描きます。ただしマイナス電源の場合は逆に下側で下向きにします。また電源を外部から加える電源入力部は図面の右側に描きます。

③ 部品には部品番号を付ける

参照
・抵抗器 → p.33
・コンデンサ → p.47

各部品には種類を表す英文字と、連番の組み合わせによる部品番号を付けていきます。これで別に作成する部品表との間で一意に区別がつくようにします。そして各部品には定数値を併記します。例えば抵抗なら「R1 100k」とし、コンデンサなら「C2 10μF」というように描きます。

◆図 1.2.5　回路図に書かれている記号、番号

④ コメントテキストをできるだけ付加する

例えばスイッチなどにはスイッチの機能を示す「RESET」とか「UP」とかのコメントを描いておくと、回路図が読みやすくなります。この他にも機能ブロックの意味とか、電源の範囲とか、後で読む人ができるだけ回路図を見やすくするような工夫をします。

⑤ 回路図名称、作成日時、作成者、版数などの欄を作成する

回路図の右下隅に欄を設け、その回路図が何であるか、いつ誰が作成したかなどがわかるようにします。また版数を付けておくことで、自分でも後から見たときにどれが最新版か悩むことがなくなります。さらに訂正内容もコメントで追加しておけばベストでしょう。

⑥ ICのピンには記号を付ける

ICのピンにはピン番号だけでなく、データブックに示されている各ピンの機能を表した略号を付けておきます。こうすると、いちいちICのデータブックを見なくてもよいので、回路図がぐっと見やすくなります。

1-3 電源とグランドのノウハウ

ここでは、電子工作でもっとも大切な電源とグランドに関連する工作、設計ノウハウを説明します。これさえきちんと守れば、電子工作はすべてうまくいくというほど大切なノウハウです。

1-3-1 グランドと誤動作

回路図ではグランド記号で表現されているところは、全部電源のグランド端子に接続すればよいことになっています。しかし単純に接続しただけでは正常に動作せず、時々変な動きをする現象に悩まされることがあります。変な動作とは、下記のような現象をいいます。

① デジタル回路で時々誤動作する

マイクロコンピュータなどを使った高速の回路のときなど、普通は正常に動作しているのだけど、時々正常でない動きをすることがあります。

② オーディオアンプを作ったが、ブーンというノイズが入る

これは通称**ハムノイズ**と呼ばれているもので、商用電源の信号が微小な入力信号線に混信しているために起きます。

③ ラジオを作ったが発振して止まらない

増幅した高周波信号が前段に回り込んで、さらに増幅されてしまうために起きる現象です。

④ 微小な電圧を計測するとき、測定ごとに値が変動する

測定電圧にノイズが混信しているために安定しない値となってしまうことがあります。

このような現象はグランドの接続の仕方によって起きていることが大部分です。グランドは電子回路のすべての基準になります。完全にゼロボルトの電圧でなければなりません。ところが、例えば図1.3.1のように、細い線やプリント板の細いパターンでグランドに接続しているとき、B点からグランド基準点（電源の0ボルト端子にあたる）に向かって大きな電流や周波数の高い電流が流れると、そこの配線やパターンで電圧降下が発生し電位差（つまり電圧）が発生してしまいます。そうすると、A点のように同じグランドとして接続されているにも関わらず、この電位差のために、グランドが0ボルトでないところが発生してしまいます。

その結果、回路が正常に動作せず、誤動作したりノイズが混入することも起こり得ることになります。

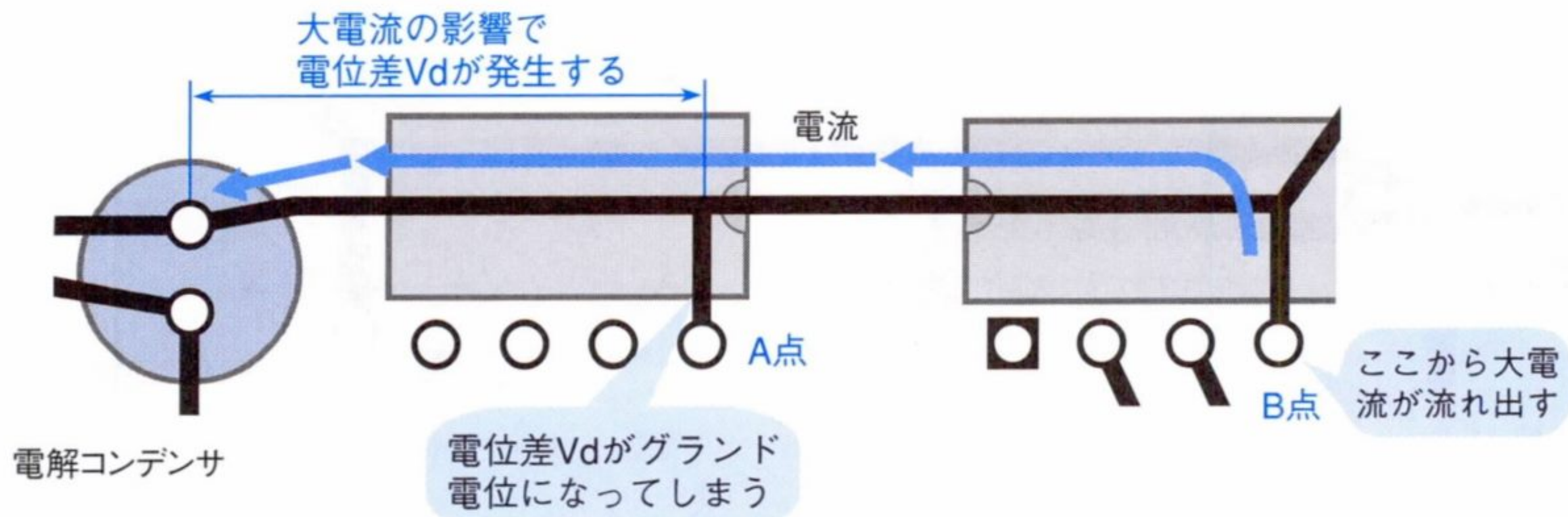
鉄則

グランドをおろそかにすると、ノイズや誤動作の原因を招いてしまう。グランドに関する常識を守って設計すること。

大電流の影響で
電位差Vdが発生する
電流
A点
B点
ここから大電流が流れ出す
電解コンデンサ
電位差Vdがグランド電位になってしまう

◆図1.3.1　グランドの影響

・グランドは太く短く

> **常識**
> グランドは太く短くが基本。

グランドに関連する問題で、誤動作を避けるには**グランドは太く短く**が基本です。プリント板であれば、**電源のパターンは幅広く短く**ということになります。難しくいうとインピーダンスを低くするということになります。

・1点アース

> **常識**
> 〔1点アース〕グランドとすべき点を別々の独立した短距離の配線で、電源のグランド基準点の1点に結ぶ。

もう一つの解決方法は、**1点アース**です。1点アースという言葉もよくいわれる基本です。これは上記と同じことなのですが、多少違うのは誤動作だけでなく低周波回路や高周波回路での「ノイズ」に関連していることです。

これは図1.3.1でアースに向って大電流が流れるのではなく、グランドラインに流れる電流が高速に変動すると（高周波になると）、グランドラインが抵抗の働き（インピーダンスという）をしてしまい、途中のグランド電位がわずかに変動するため、増幅度が高いアンプのようなときには、本来の信号に対する雑音となって増幅されてしまうのです。これが特にオーディオアンプや高周波アンプなどの、高い増幅度のアンプのノイズとして頻繁に頭を悩まされる問題なのです。

これを避けるには、グランドラインで影響されないように、**グランドとすべき点を別々の独立した短距離の配線で、電源のグランド基準点の1点に結ぶ**ようにします。これが1点アースと呼ばれる配線方法です。

具体的には図1.3.2のように、C点もD点もグランド基準点から独立に短く配線されていると、D点からの電流による電位差はC点には全く現れないことになり、ノイズも発生しません。この1点アースの原理は、線材による配線の場合にも当てはまります。

太く
短く

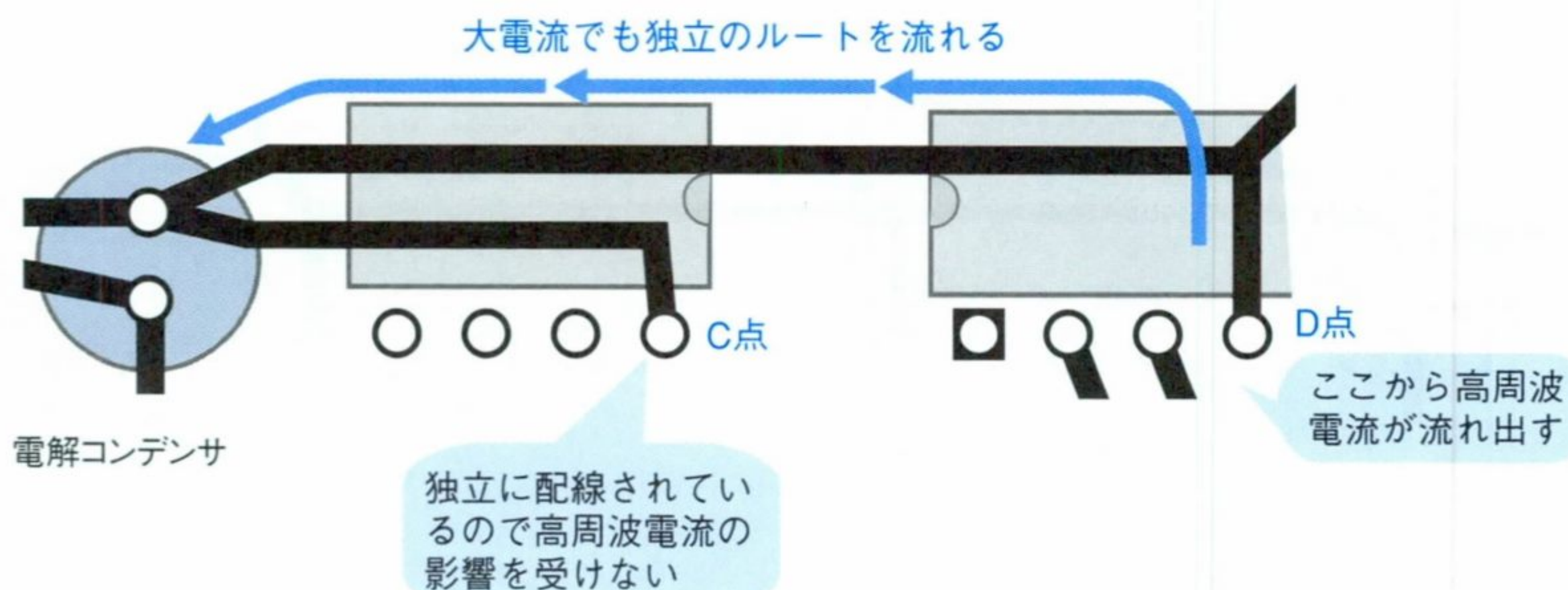
大電流でも独立のルートを流れる

C点

D点

ここから高周波電流が流れ出す

電解コンデンサ

独立に配線されているので高周波電流の影響を受けない

◆図1.3.2　1点アースによる改善

1-3-2 電源の問題とパスコン

常識

安定した電源を使うこと。

1点アースによるノイズ対策も、これが有効なのはグランド基準点が確実に0ボルトを保っている場合です。このためには外部変動に対して、安定した供給ができる電源を使う必要があります。「安定に」ということは、0ボルト基準点が変動しないという意味です。

つまり、

① 電流をたくさん流すときも少ないときも同じように供給できること。

② 高い周波数で電流が変動しても、影響を受けずに安定に供給できること。

が必要とされます。

参照

・コンデンサ → p.47

これを難しくいうと、電源の出力インピーダンス、つまり内部抵抗が低いということが必要です。これを実現する具体的な方法には**コンデンサ**を使います。

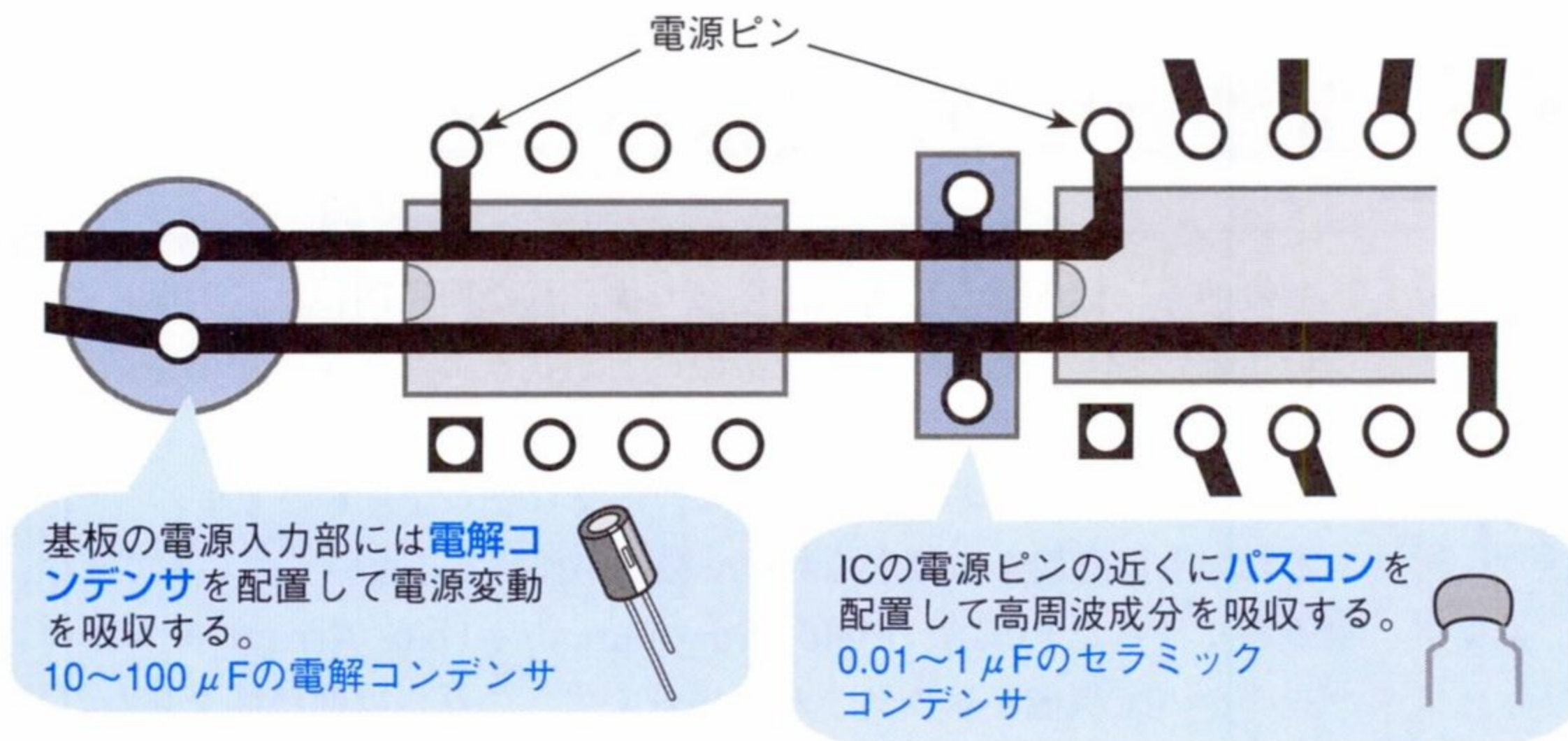
コンデンサは電気を貯めておくことができる素子です。そして接続された相手に貯めた電気を放電することもできます。このコンデンサの機能を利用して上記①、②を実現することができるのです。

例えば図1.3.3のように、電源との接続部分に大容量の電解コンデンサをつけることで、急に大電流を流すときや急に電源電圧が下がったときなどでも、コンデンサに蓄えられた電気を放電することで対応できるので、負荷側には影響を与えません。つまり安定した電源を供給できることになります。

またこれとは別に、図1.3.3のように電源の配線の途中で、ICなどの負荷の電源ピンの近くで、電源とグランドとの間にコンデンサを挿入します。すると、急に負荷に電気をたくさん流さなければならないとき、電源からすぐには届かない場合でも、一時的にコンデンサから放電して急場をしのぎます。この際、コンデンサに高周波でも動作するものを選べば、高い周波数で電流が変動するときにも、やはりこのコンデンサから電源を一時的に放電して供給することで、電源から直接供給するのが間に合わなくても安定に供給することができるのです。このため、負荷に安定な電源を供給できるとともに、他の負荷への影響を出さないですみます。

電源ピン

基板の電源入力部には電解コンデンサを配置して電源変動を吸収する。
10〜100 μFの電解コンデンサ

ICの電源ピンの近くにパスコンを配置して高周波成分を吸収する。
0.01〜1 μFのセラミックコンデンサ

◆図 1.3.3　パスコンの配置

用語解説

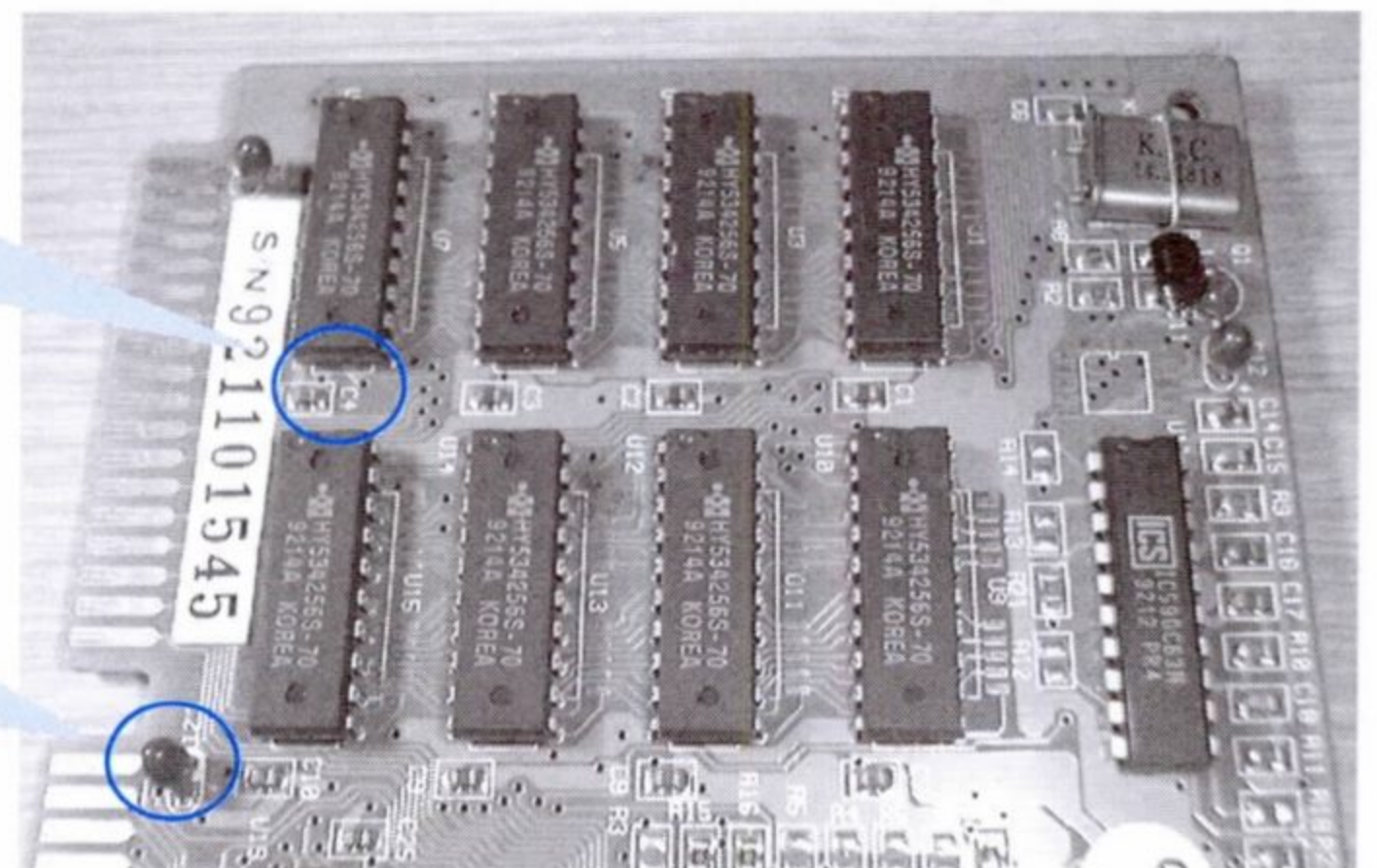
・パスコン
電源回路の途中に挿入するコンデンサ。電源の供給を手助けし、グランドに流れるノイズ電流を平均化して減らすことができる。

常識

ICの電源ピンのすぐ近くに、必ず『バイパスコンデンサ』をつけること。

このように電源回路の途中に挿入するコンデンサのことを**バイパスコンデンサ**と言い、略して**パスコン**と呼びます。パスコンの効果は電源の供給を手助けすることで、前項で説明した、グランドに流れるノイズ電流を平均化して減らすことができます。特に高い周波数で動作するデジタル回路では、誤動作を効果的に減らすことができます。デジタル回路の基板を見ると、写真1.3.1のように、ICのすぐ近くにコンデンサが実装されているのをよく見かけますが、これがパスコンです。

小型セラミックコンデンサがIC1個につき1個ずつ配置されている

電源の供給元には、大きめのタンタルコンデンサが配置されている

◆写真 1.3.1　パスコンの例

我々の電子工作でも、デジタルICを使う場合、デジタルICの特性からICの出力が変化するとき一瞬大きな電流が流れるので、少なくとも1個か2個のICにつき1個のバイパスコンデンサをICの電源ピンのすぐ近くにつけるようにしましょう。これで誤動作の悩みから解放されます。

1-4 回路図に描いてないこと

用語解説

・**FPGA**
プログラミングすることができるIC。外部からプログラムを書き込むことで、自由に回路を構成できるようにしたIC。(読み方：エフピージーエー)

・**マイコン**
マイクロコンピュータ。PIC、H8などがある。

参照

・FPGA → p.96

一般的な（標準的な）規則に従って描かれた回路図には、明確に表現されていないことがいくつかあります。このことが我々アマチュアが回路図から実際に自作することを難しいものにしているのかも知れません。しかし、これにもある一定の規則や経験則があり、慣れれば苦にならなくなるものです。

それでも回路図からは全く動作や機能が理解できないものがあります。それは、最近多くなったFPGA（Field Programmable Gate Array）やマイコンなどの、プログラムで機能が組み込まれる場合です。これらは回路図を見ただけでは、機能や動作は全くわかりません。あくまでもプログラムの理解が必要です。それでは、標準的に回路図に描かれないことや、回路図に現れない部品を説明していきます。

1-4-1 部品の配置と実装方法

アドバイス

失敗してもかまいません。そこから発見できるものもあります。
とにかく「習うより慣れろ」だと思います。実際に製作して経験で学んでください。

部品をどのように配置して配線をどう通すかは、回路図には描かれません。実際に組み立てるときには非常に重要なことなのですが、回路図上は全く明記されないのです。例えば、特に短く配線しなければならないとか、太い線材を使う必要があっても、回路図には明記されていません。高性能のオーディオアンプなどでは、このあたりがノウハウとなっていますが、これはもう実際に製作してみて経験で学ぶしか他に方法はありません。

また、高周波回路では、配置や配線ルートがまずいと異常発振したりすることがあります。これもノウハウで一応の経験則がありますが、経験を積むしかありません。

このような経験則が少しでも伝わるように、雑誌などの紹介記事では、必ず回路図以外に**組立図**も一緒に説明しています。この組立図で部品の配置や実装方法を知ることができます。そして作ってみて経験してノウハウを学ぶことになります。

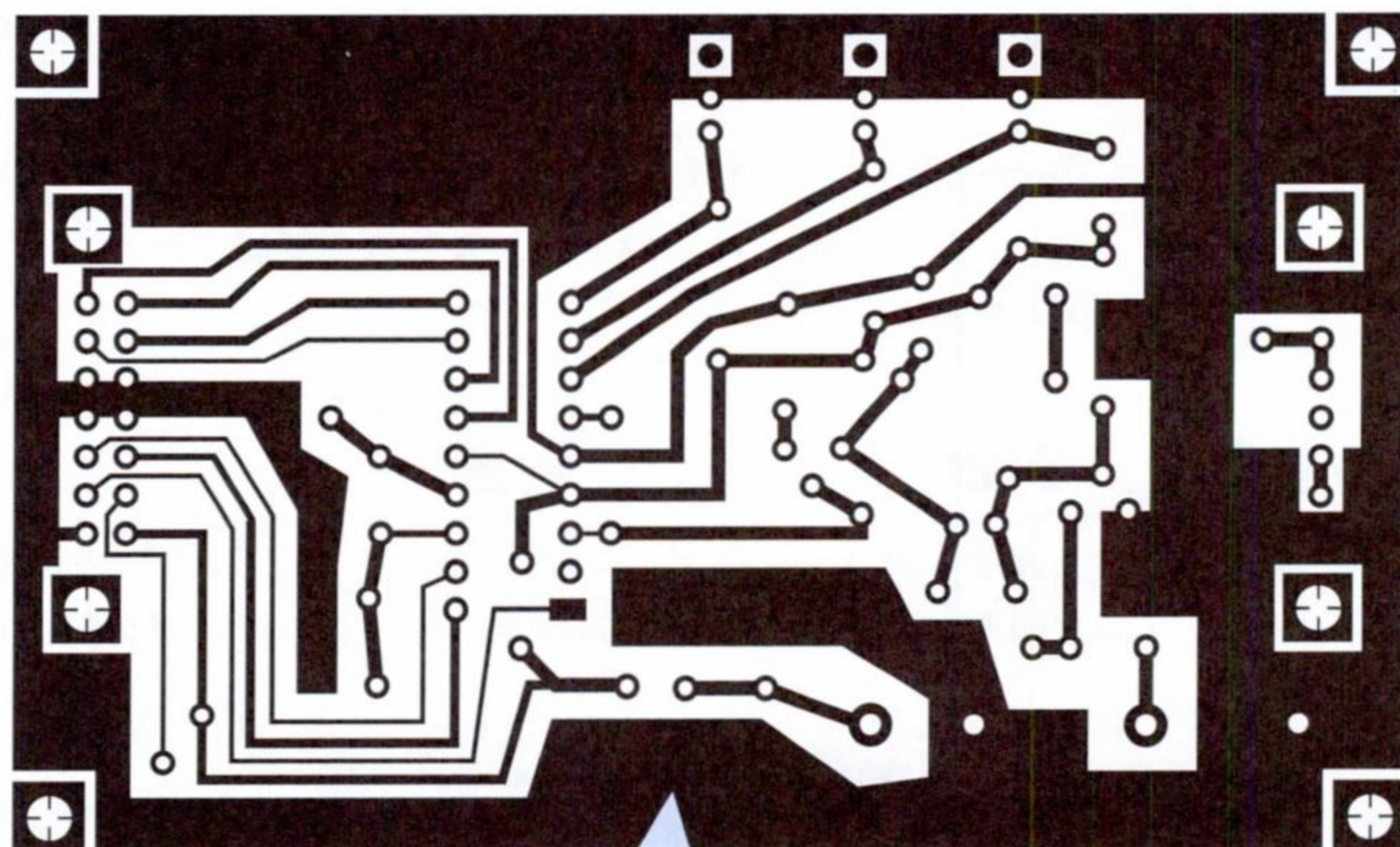
1-4-2 明確に描かれない配線

回路図では明確に接続関係が表記されないものがいくつかあります。これらの大部分は一定の規則があって常識ということになっているものです。例えば下記のようなものがあります。

常識

・グランドの接続線は幅広く。
・空いているスペースはすべてグランドに接続する。

① 電源とグランドの配線

電源やグランドの記号で終端されている配線は、同じ記号が全て配線で接続されているものと見なします。プリント基板の場合には、グランドの接続線はできるだけ幅広くし、図1.4.1のように空いているスペースはすべてグランドに接続するパターンとします。これによりノイズに強い回路とすることができます。

◆図 1.4.1　グランドパターンの例

② ICの電源とグランド

常識

配線やパターン作成時に、ピンの接続を忘れないようにすること。

標準デジタルICの14ピンや16ピンなどのDIP（Dual Inline Package）タイプのものは、電源とグランドピンが決まっています。またオペアンプICなども電源とグランドピンがほぼ共通して決まっているため、回路図上は省略することが多くあります。したがって配線やパターンを作成する際には、**ピンの接続を忘れないようにする**ことが必要です。

1-4-3　部品の特性や種類

常識

使用する部品の特性を知っておくこと。

用語解説

・DIP
長方形のパッケージの両側に、入出力用のピンを配置したもの。（読み方：ディップ）

回路図には、特別のもの以外は部品の種類の指定は表現されません。どの種類の部品を使うべきかには経験則があり、それに則っていきます。これも雑誌記事などで組立例の紹介記事を参照していれば、自然にわかるようになってくるのであまり気にしなくともよいでしょう。

それでも部品ごとにどんな種類があって、どんな特性を持っているかは知っておくことが肝心です。その際に気にすべき**ポイントは、温度特性、周波数特性、許容電力、大きさ、精度**などです。これらについては次章以降で詳しく説明していきます。

1-4-4　機構部品

組み立てるときに必要となるケースやソケットなどの機構関連の部品ですが、これらもやはり回路図には表記されません。

① ICなどのソケット

デジタルICなど実際に実装するときにはICソケットを使うことが多くありま

すが、ソケットは明記されません。

② ケースなどの機構部品

ケースや、取り付けの金具、放熱板や絶縁シートなど、多くの機構部品は回路図には描かれません。

1-4-5 機能やタイミング関連

実際の動作や、信号のタイミングについては回路図には描かれません。また組立図などにも表記されないので、全く別の解説が必要となります。

① 信号の動作タイミングは記述されない

場合によっては回路図に信号のタイムチャートが一緒に描かれている場合もありますが、通常は描かれていません。これを回路図から読み取ることが必要になります。必要なタイミングは、使用している部品の規格表から知ることができます。したがって、これらの部品の規格表を読めるようにしておく必要があります。

② ICの機能や動作

特に最近のLSIを使った回路は、回路図を見ただけでは動作を理解することは不可能です。これは、LSIの説明書で機能を理解したうえで回路図を読むしかありません。またFPGAやPLDなどのプログラマブルなLSIや、マイコンが使われた回路図は、回路図からも部品の規格表からも、全く動作を理解することは不可能で、FPGAやマイコンなどのプログラムを理解しなければどうしようもありません。

参照
・FPGA、PLD
→ p.96

1-4-6 使用環境

回路図で製作されたものが前提としている使用環境、例えば周囲温度、湿度、塵埃(じんあい)の程度、電源の変動などなど、これらの使用条件は回路を設計する上では非常に重要な要素なのですが、なぜか回路図には表現されません。これを知るには設計仕様書のようなものが必要となってしまい、なかなか調べることは難しいようです。したがって使用している部品の規格から推定し、あとは自分で考えて確認するしかないようです。

ここまで考えて回路設計ができるようになれば、もう一人前の設計者です。あとは自分で考えるだけです。

第2章

電子部品の知識

私たちが電子工作をするときよく使う電子部品を説明します。どの部品にもいくつかの種類があり、それぞれに性能や特徴があります。私たちは特徴を知ったうえで最適な部品を選ぶことが必要とされます。特に回路図内では種類を特定されないので、部品の特徴を当てはめて自分で選択します。したがって電子部品の知識はできるだけたくさん知っていることが必要です。

しかも新しい電子部品が次々と開発され、その都度性能が改善されているので、これまでできなかったことができるようになることもしばしばあります。電子部品の新製品情報にはいつも気をつけ、展示会などできる限り参加し、これらの新しい情報を仕入れる努力をしましょう。

2-1 電子部品の使い方

電子部品を使ううえで共通して知っているべきことがあります。それはまず電子部品にはどんな種類があるかということと、使い方にどんなポイントがあるのかということです。

2-1-1 電子部品の種別

まず電子部品を大別すると、下記の3種類に分けられます。

① 能動部品

入力と出力を持ち、電気を加えることで、入力と出力に一定の関係を持つ素子を能動素子と呼びます。この能動素子単体または組合わせた部品を能動部品と呼びます。

（例）トランジスタ、IC、ダイオード、オペアンプなど。

② 受動部品

自身では機能しないが、能動部品と組み合わせることで機能する部品です。

（例）抵抗、コイル、コンデンサの3要素がある。

③ 補助部品

素子を接続したり固定したりするための部品です。

（例）リレー、コネクタ、基板、端子、スイッチ、線材など。

2-1-2 電子部品の使い方のポイント

電子部品は多くの種類がありますが、それぞれ使い方にノウハウがあります。電子工作には、これら全てを知る必要はありませんが、知っていればそれなりに上手な工作ができます。以下では部品ごとにそれらの使い方を説明していきますが、使うにあたってのポイントには次のような基本的内容が含まれます。

常識
部品の特性、特徴を知った上で使用すること。

① 部品の種類

同じ部品でもいくつかの種類があります。しかも種類により特性に特徴があり、その特徴を知りながら使うことが、よりよい性能を引き出すことになります。

② 規格

各部品には部品を使うために考慮しなければならない規格が定められています。規格を上手に使いこなすことが設計です。

鉄則
部品は最大定格の範囲内で使用すること（余裕を持って使うこと）。

③ 最大定格

それぞれの部品には最大定格というものがあり、その範囲内で使うことが前提になっています。これを超えて使えば著しく部品寿命を縮めたり、最悪の場合、部品の破壊につながりますので気をつけることが必要です。また、特に最

大定格に対して余裕を持って使うことを**ディレーティング**といい、部品の特性をさらに活かし、部品の寿命を縮めることがありません。

常識

発熱するもの、大電流を扱う部品は放熱を十分考慮すること。

参照

・放熱器 → p.145

④ 寸法、取りつけ方法

部品には同じ種類でも大型のものも小型のものもあります。また取り付けに絶縁が必要などなど、特徴を知ったうえで使い分けます。

⑤ 発熱への考慮

電子部品の多くは発熱する特徴があります。特に大電流を扱う部品については、放熱を十分に考慮しておくことが必要です。

2-1-3 情報の入手方法

各部品の規格などの入手はなかなか大変です。入手方法には下記のような方法がありますが、最近はインターネットで各社のウェブサイトから、個人でも容易にデータが入手できるようになったので、アマチュア工作には非常に便利になりました。

アドバイス

部品のデータシートを入手するには、インターネットを利用すると便利です。

① 各社のデータブック（データシート）

各部品メーカが発行しているデータブック（**データシート**）を参考にする方法です。しかし最近は、各社ともインターネット経由での公開に移行し、データブックは発行しない方向になっています。

② 各種展示会でのデータ入手

これは特に新製品情報などの入手に有効で、いろいろな展示会が季節ごとに開催されていますので、できるだけ参加して情報入手に努めます。またこのような会場では、各社のデータをまとめたCD-ROMを配布していることも多く、ぜひゲットしておきましょう。CD-ROMはメーカの大部分の部品規格表が格納されていて非常に便利に使えます。

③ ウェブサイトからの入手

最近はほとんどがこの方法で必要な情報を入手可能となっています。アマチュアには非常にありがたいことです。主要なパーツのメーカは表2.1.1となっています。

COLUMN 電子部品のデータシートを入手する方法

インターネットを利用すると簡単です。方法は、Google、yahoo、gooなどの検索エンジンを利用し、キーワードを入力して検索します。

・Googleで検索

まず、「Google」にアクセスします。「東芝セミコンダクター社」のデータシートを検索したい場合は、「Google」のキーワードを入力する欄に「東芝セミコンダクター社」と入力し、「Google検索」ボタンをクリックします。検索結果が表示されるので、目的のホームページを選択します。

膨大な検索結果の中から目的のものを探し出すのは面倒なので、特に「センサ」に関しての情報が必要であれば、「東芝セミコンダクター社　センサ」と入力して検索することもできます。詳しい使い方は関連書籍または、Webでお調べください。

◆表 2.1.1　主要電子部品メーカ一覧表

電子部品種類	メーカ名	備　考
抵抗、コンデンサ	村田製作所	セラミックコンデンサ、積層セラミックが有名 他にも多種類のコンデンサがある
	パナソニック エレクトロニック デバイス（株）	チップコンデンサ、積層セラミックなど多種類の製品がある
	ニチコン	アルミ電解コンデンサ、フィルムコンデンサなど
	エルナ	アルミ電解コンデンサ、タンタルコンデンサが有名
	東京コスモス電機	可変抵抗器が有名
半導体	ナショナルセミコンダクタジャパン	アナログICが有名
	アナログ・デバイセズ	アナログICが有名
	リニアテクノロジー	アナログICが有名
	マイクロチップ・テクノロジー	PICマイコン、アナログICが有名
	東芝セミコンダクター社	トランジスタ、ダイオード、マイコン、機能LSIなど
	NECエレクトロニクス	トランジスタ、ダイオード、オペアンプ、 マイコン、メモリなど
	ルネサス テクノロジー	マイコン、メモリ、トランジスタなど
	三洋半導体	モータ用、AV用IC
	インターシル	計測用の専用ICが有名、HARRIS製品も扱う
	パナソニック エレクトロニック デバイス（株）	AV用など多種類の製品がある
センサ、発光ダイオード、リレー	村田製作所	超音波センサなど幅広い製品がある
	シャープ	発光ダイオードが有名
	パナソニック エレクトロニック デバイス（株）	リレー、湿度センサなど多種類の製品がある
	浜松フォトニクス	光関連センサが有名
	オムロン	制御機器とセンサが有名
	松下電工	制御機器用リレーが有名
コイル、高周波トランス、発振子、フィルタ	TDK	インダクタ全般、多種類の製品がある
	TOKO（東光）	コイルとフィルタ、発振素子で有名
	京セラキンセキ	クリスタル振動子、クリスタル発振器で有名
	村田製作所	セラミック発振子、セラミックフィルタなど幅広い製品がある
コネクタ、ソケット、スイッチ	ヒロセ電機	あらゆるコネクタ、ソケットが有名
	山一電機	コネクタ、ソケットが有名
	日本航空電子工業（JAE）	特殊スイッチ
	日本開閉器工業	多種類のスイッチがある
	アルプス電気	スイッチ、可変抵抗器など多種
ケース	タカチ電機工業	あらゆる種類のケースがある
基板	サンハヤト	感光基板、IC変換基板など多種類
モータ	オリエンタルモータ	本格的なモータのラインアップがある
	マブチモータ	小型DCモータは有名

（注）各メーカのウェブサイトより、製品情報やカタログ、データシートを検索して必要な情報を入手してください。

2-2 抵抗器（レジスタ）

用語解説
・抵抗
電圧、電流を制御する部品。

参考
・オームの法則
R＝V／I

アドバイス
抵抗器には極性はありません。

参考
・mΩ
（ミリオーム）
・Ω
（オーム）
・kΩ
（キロオーム）
・MΩ
（メガオーム）

抵抗器とはその名前の通り、電気の流れを邪魔する働きをします。この邪魔する大きさを「電気抵抗」といい、単位は「**オーム：Ω**」で表されます。そしてこの電気抵抗は下記のように求められます。これが有名な**オームの法則**です。

（電気抵抗）＝（抵抗の両端の「電圧」）÷（流れる「電流」）　〔単位はΩ〕

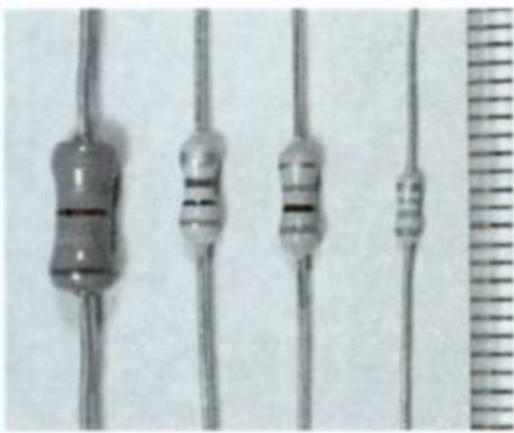
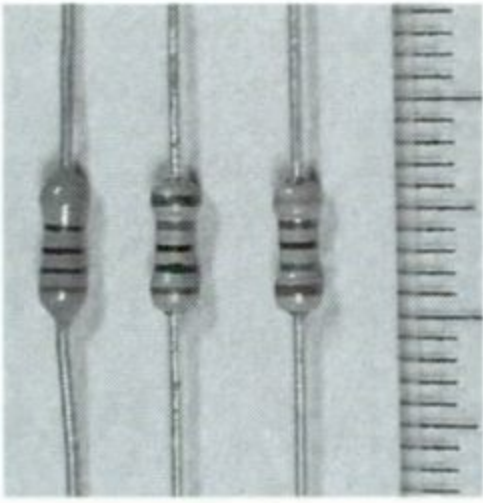
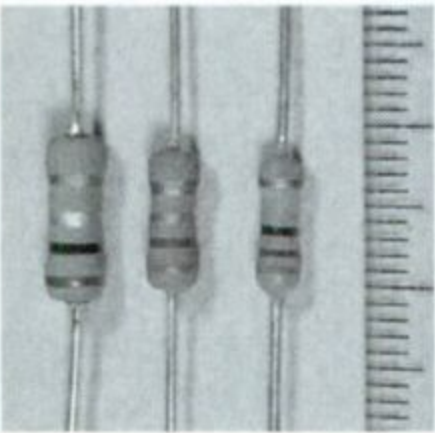
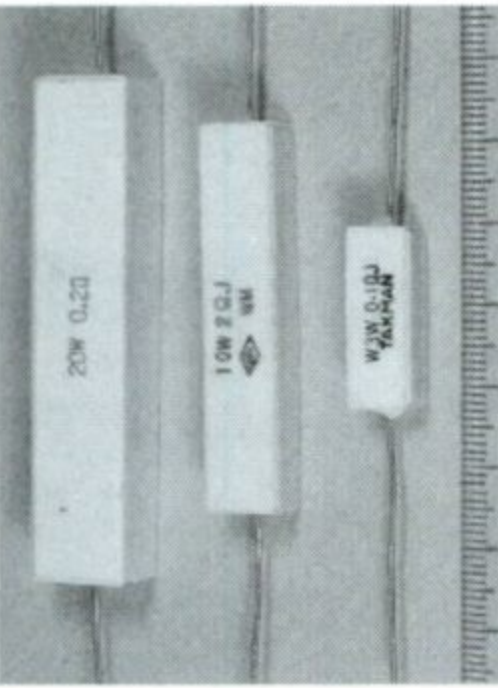
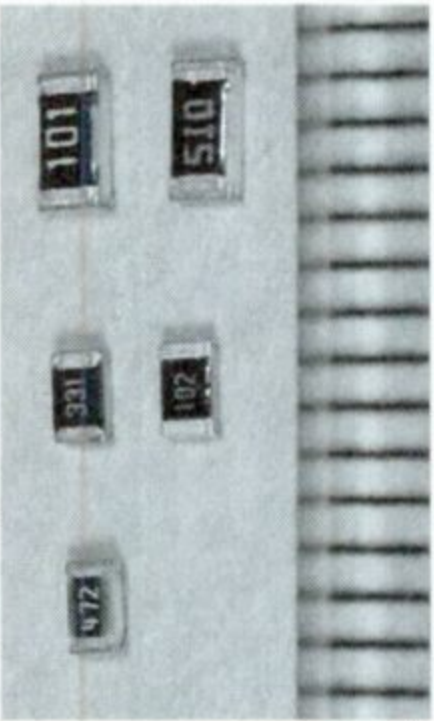
もうひとつの抵抗器の大きな特徴は、発熱体であることです。抵抗器による発熱量は電流の２乗に比例したものとなりますので、常に抵抗体の電力容量に注意することが必要です。回路図での表現は表2.2.1のような記号で表します。

◆表2.2.1　抵抗器の回路図記号

回路図記号	略号	記号	名称	機能・特徴
R1 (抵抗記号) 10k	R	mΩ Ω kΩ MΩ	抵抗	電圧、電流の制御 用途によって多種類あり 直流から高周波まで使用可能 小電力用から大電力用まである

2-2-1 抵抗器の種類

抵抗器は材料により数多くの種類が用意されています。それぞれに最適な使い方があり、工作のときにもいくつかの種類を使い分ける必要があります。

表2.2.2は工作でよく使う抵抗器の種類です。その他にも多種類ありますが、この表以外のものは特殊用途ということになります。

COLUMN　抵抗器

「JIS電気用図記号の改訂」に合わせて、平成14年度から中学の教科書の電気用図記号が変更されました。抵抗器は下記のような記号になっています（ただし、本書では従来の記号を用いることにします）。

新しい図記号　　従来の図記号

◆表2.2.2　抵抗器の種類一覧表

抵抗器種類	外観	特徴	使い方
カーボン皮膜抵抗器		細いセラミック筒の表面にカーボン皮膜を形成したもので、汎用で安価なので最もよく使われる。 抵抗範囲：1.0Ω～3.3MΩ（E24系列値） 電力範囲：1/8W、1/4W、1/2W 公称誤差：±5%〔J〕 温度係数：+350～1500ppm/℃	高精度、大電力以外の大抵のところで使う。
金属皮膜抵抗器		セラミック筒の表面にニッケルクローム系またはタンタルニウム系の金属皮膜を蒸着させたもので、抵抗値が安定していて雑音発生も少ない。高精度でよい温度特性を持つ。 抵抗範囲：20Ω～2MΩ（E96系列値） 電力範囲：1/8W、1/4W、1/2W 公称誤差：±0.5%、1%、2% 温度係数：±25～±250ppm/℃	アナログ回路などで高精度を求めるときや、オーディオで雑音を少なくしたいときなどに使う。
酸化金属皮膜抵抗器		セラミック筒の表面に、酸化第二スズの皮膜を形成したもので、熱に強く小型でも大電流を流せる。 抵抗範囲：10Ω～100kΩ（E24系列値） 電力範囲：0.5W、1W、2W、3W 公称誤差：±2%、5% 温度係数：±200～±350ppm/℃	電源などの電流が大きいところに使う。
巻線抵抗器 (電力型) ホーロー抵抗器 セメント抵抗器		巻き線をホーローの中に巻き込んだり、セメントでセラミック容器の中に封じ込めたもので、大電力用。 抵抗範囲：0.01Ω～400kΩ 公称誤差：±5% 電力範囲：2W～100W	電力の大きなものが必要なときに使う。 耐電力と抵抗値が数字で印刷されている。
チップ抵抗器		厚膜形成により小型平板の上に抵抗を作ったもので、表面実装に使う。 抵抗範囲：1Ω～10MΩ 電力範囲：1/16W、1/10W、1/8W、1/4W、1/2W、1W 公称誤差：±0.5%、1%、2%、5% 温度係数：±100～600ppm/℃	表面実装用の小型抵抗で、角型平板構造となっている。電力によりサイズが異なる。

2-2-2 各種特性と使い方

抵抗器は理想的には常に一定の値を保持していて欲しいのですが、実際にはいろいろな条件で変化するため、使い方に注意が必要なものがあります。下記に使用上の注意事項を列挙します。

常識
定格電力の範囲内で使用すること。

① 定格電力

抵抗器に電流が流れると必ずそこで熱に変化します。その熱の許容範囲が定格電力なのですが、普通使うときには定格電力の１／２以下で使います。このように余裕を持って使うことを**ディレーティング**といいます。

② 抵抗温度係数

抵抗値は温度により変化します。どれぐらい変わるかというと、＋300ppm/℃の温度係数の抵抗では、温度が20℃上がると抵抗値は0.6％大きくなってしまいます。したがって精密アンプなどを作るときには、このことを設計上配慮する必要があり、設計範囲に入らないときには**金属皮膜抵抗器**（きんぞくひまく）などの高精度抵抗器を使います。

③ 周波数特性

抵抗器は周波数が高いところで使うと、構造上、コイルやコンデンサと同じ要素が含まれて来てしまい純粋な抵抗ではなくなってしまいます。しかし普通のカーボン抵抗器なら数10MHz（メガヘルツ）までは気にしなくても大丈夫です。一方、巻線抵抗器は構造がコイルそのものですから高周波には使えません。

④ 熱による劣化

特に大きな電流が流れるところに使う抵抗器は経年変化や劣化が現れてくるので、十分に余裕を持った使い方が必要です。

⑤ 雑音特性

抵抗器は本質的に熱雑音を発生します。オーディオで特に低雑音が必要なときなどには、特別に低雑音用の特殊抵抗器が使われますが、一般には金属皮膜抵抗器がよい特性をもっています。

2-2-3 抵抗値のE系列

抵抗器には用途による種類があることがわかりましたが、抵抗値にはどんなものがあるのでしょうか。

表2.2.2では非常に広い範囲の抵抗値となっていますが、この間のどんな値でもというと無限の種類となってしまいます。そこでJISで値の標準値が決められています。これを**E系列**といい、例えば1から10までの1桁の間を何等分するかによって「E3、E6、E12、E24、E96」と呼ばれています。つまり12個に分けた場合をE12系列というわけです。ただし等分といっても等比級数での等分なので、表2.2.3のように一見中途半端な値になっています。

?教えて

2.1kΩの抵抗器が必要だが、表にはありません。どうしたらいいの？

〔回答〕

E24系列の2.0kΩを使用します。表中に公称誤差と書いてありますが、これは許容差のことで、E24系列の2.0kΩの許容差は±5%ですから、2.1kΩの代用として使えます。

高精度が必要な場合は、E96系列から選択します。

◆表2.2.3　E系列の値

<table>
<tr><th>値の系列</th><th>E6系列</th><th>E12系列</th><th>E24系列</th><th>E96系列</th></tr>
<tr><th>公称誤差</th><th>±20%</th><th>±10%</th><th>±5%</th><th>±1%</th></tr>
<tr><td rowspan="16">抵抗値
1桁中に
存在する
標準の
抵抗値</td><td rowspan="4">1.0</td><td rowspan="2">1.0</td><td>1.0</td><td rowspan="16">等比級数で
96等分
（詳細省略）</td></tr>
<tr><td>1.1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1.2</td><td>1.2</td></tr>
<tr><td>1.3</td></tr>
<tr><td rowspan="4">1.5</td><td rowspan="2">1.5</td><td>1.5</td></tr>
<tr><td>1.6</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1.8</td><td>1.8</td></tr>
<tr><td>2.0</td></tr>
<tr><td rowspan="4">2.2</td><td rowspan="2">2.2</td><td>2.2</td></tr>
<tr><td>2.4</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2.7</td><td>2.7</td></tr>
<tr><td>3.0</td></tr>
<tr><td rowspan="4">3.3</td><td rowspan="2">3.3</td><td>3.3</td></tr>
<tr><td>3.6</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3.9</td><td>3.9</td></tr>
<tr><td>4.3</td></tr>
<tr><td rowspan="4">4.7</td><td rowspan="2">4.7</td><td>4.7</td></tr>
<tr><td>5.1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">5.6</td><td>5.6</td></tr>
<tr><td>6.2</td></tr>
<tr><td rowspan="4">6.8</td><td rowspan="2">6.8</td><td>6.8</td></tr>
<tr><td>7.5</td></tr>
<tr><td rowspan="2">8.2</td><td>8.2</td></tr>
<tr><td>9.1</td></tr>
</table>

2-2-4 抵抗値とカラーコード

実際の抵抗値は表2.2.3のE系列値を10の何乗倍かしたものとなっています。通常よく使う抵抗の単位は下記となります。しかし、最近の抵抗器は非常に小型になったため、数字を直接書けないので、色のついた数本の線で、抵抗の値、誤差を表しています。これを**カラーコード**と呼び表2.2.4のように数値と対応しています。

どうしよう

カラーコードの順番を忘れてしまった。

こういうとき、マルチテスタがあると便利です。マルチテスタで抵抗値を測定することができます。

参照

・デジタルマルチメータ → p.251

◆表2.2.4 カラーコード表

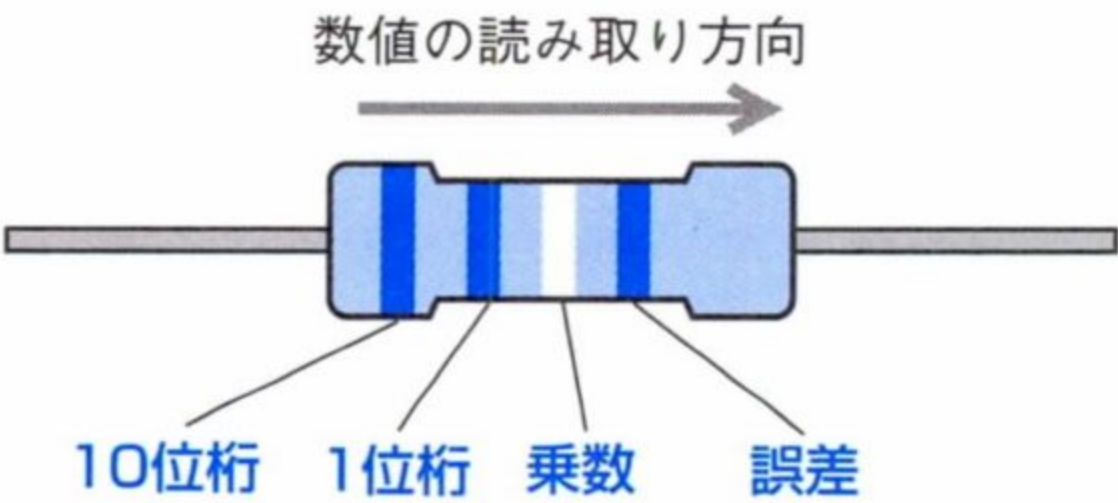
カラー	各桁数値（100位、10位、1位）	乗数	公称誤差
黒	0	$\times 10^0$	──
茶	1	$\times 10^1$	± 1%(F)
赤	2	$\times 10^2$	± 2%(G)
橙	3	$\times 10^3$	──
黄	4	$\times 10^4$	──
緑	5	$\times 10^5$	±0.5%(D)
青	6	$\times 10^6$	──
紫	7	$\times 10^7$	──
灰	8	$\times 10^8$	──
白	9	$\times 10^9$	──
金			± 5%(J)
銀			±10%(K)
色なし			±20%(M)

アドバイス

最もよく使われるカーボン皮膜抵抗器もカラーコードを使っているので、これはどうしても覚える必要があります。

アドバイス

印刷が端のほうに寄っている方が最初の線です。

通常のカーボン皮膜抵抗器は、図2.2.1のように4本のカラー線で抵抗値が表現されています。カラーコードのどちらが初めかを見分けるには、印刷が端の方に寄っている方が最初の線です。このカラーコードによって抵抗値と誤差を読み取ります。

◆図2.2.1 カーボン皮膜抵抗器のカラーコード

例えば、カーボン皮膜抵抗器でカラーコードが第1色帯から順に 茶 黒 赤 金 だったとしたら、抵抗値はいくつになるでしょうか？

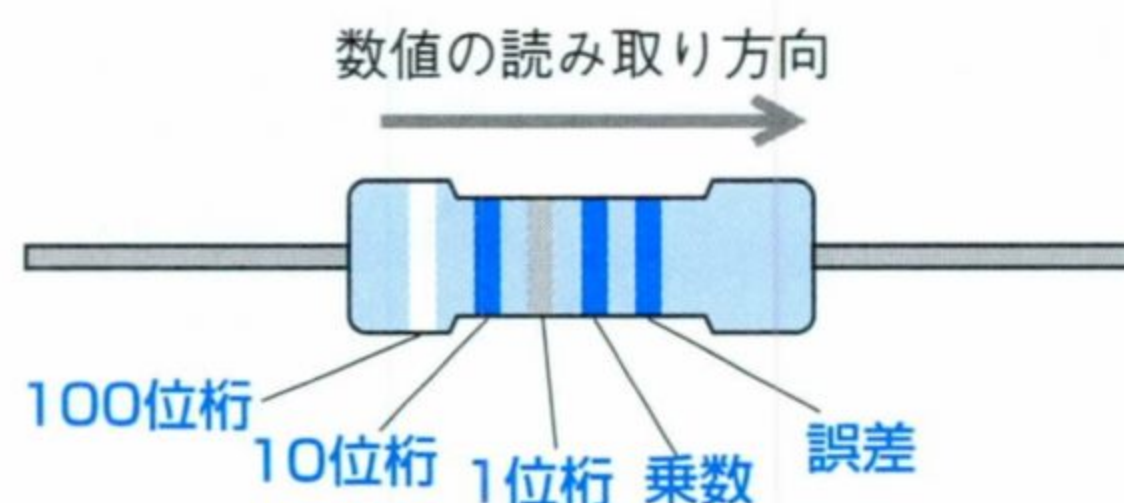
[第1色帯(10の位)第2色帯(1の位)] × 10の[第3色帯]乗〔Ω〕

茶 … 1　　黒 … 0　　赤 … 2　　金 … ±5%

したがって下記となります。

$10 \times 10^2 = 1000$〔Ω〕＝1〔kΩ〕　公称誤差　±5％

さらに高精度の金属皮膜抵抗ではE96系列を使うため、有効数値が3桁となります。そこで、これをカラーコードで表現するために、図2.2.2のようにカラー線を5本使っています。このときははじめの3本をそのまま数値とし、4番目で乗数をかけてやり、5本目が誤差という見方をします。

数値の読み取り方向
100位桁 10位桁 1位桁 乗数 誤差

◆図2.2.2 高精度金属皮膜抵抗器のカラーコード

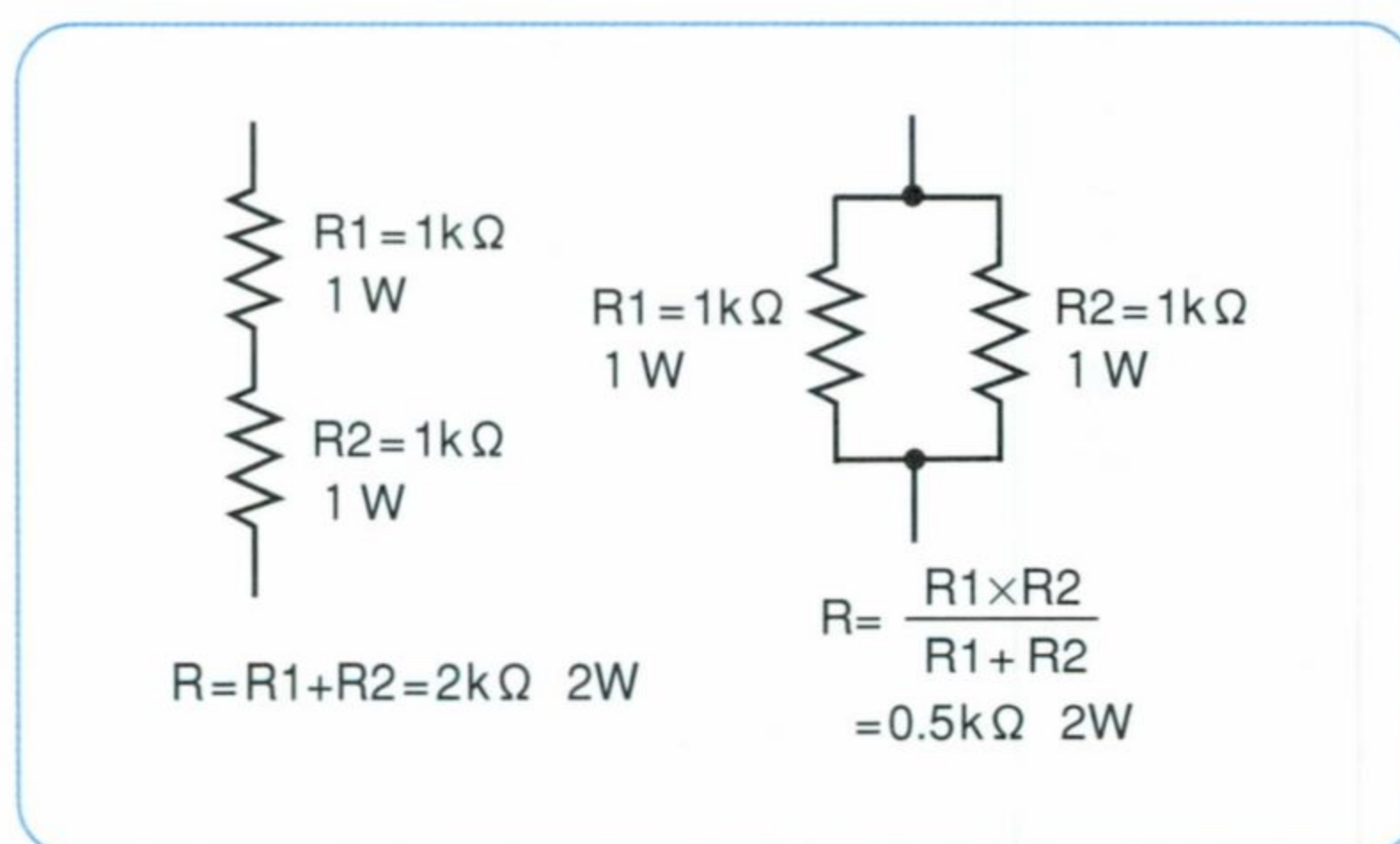
2-2-5 合成抵抗値の求め方

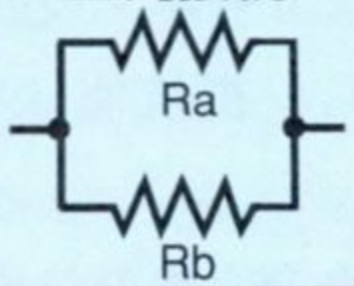
用語解説

・合成抵抗
直列または並列に接続し作り出した抵抗値。許容電力が不足する場合にも、直列または並列接続することで増やすことができる。

前項のように抵抗はすべての値が用意されているわけではありませんから、設計したぴったりの値の抵抗があるとは限りません。このような場合、入手可能な抵抗を使って、直列や並列に接続すると、特別な値に合わせることができることがあります。また許容電力が不足する場合にも、直列や並列接続することで増やすことができます。抵抗を直列や並列にしたときの**合成抵抗値**と合成許容電力は図2.2.3のようになります。

R1＝1kΩ 1W
R2＝1kΩ 1W
R＝R1+R2＝2kΩ 2W

R1＝1kΩ 1W
R2＝1kΩ 1W
$R=\frac{R1\times R2}{R1+R2}$
＝0.5kΩ 2W

◆図2-2-3 抵抗の直列、並列接続

参考

・合成抵抗
R＝1.2k・3.6k／1.2k＋3.6
＝900Ω

・合成抵抗
R＝200k＋18000k
＝18200k
＝1.82MΩ

この特徴を活用すると、E24系列の抵抗値を使って、別の値を作り出すことができます。例えば、E24系列の2個の抵抗の直列または並列接続をすると、表2.2.5のような組み合わせが考えられます。

表から、900Ωが必要なときは、1.2kΩと3.6kΩを並列に接続すればよいことになります。あるいは、分圧比が10倍で合成抵抗値を1MΩ以上にしたいときは、200kΩと1.8MΩの抵抗を直列に接続すればよいことになります。

◆表2.2.5 並列接続による合成抵抗

回路構成	抵抗A Ra	抵抗B Rb	合成抵抗値または分圧比
並列接続 (Ra, Rb)	47	270	40
	75	150	50
	12	24	8
	12	36	9
直列分圧回路 (Vi, Ra, Rb, Vo)	1.0	1.0	2:1
	3.0	12	5:1
	2.0	18	10:1
	1.0	24	25:1

用語解説

・分圧比
電圧を低くしたいとき、抵抗を使って下げることができる。そのときの電圧を下げる比率を分圧比と呼び、抵抗の比で決まる。

抵抗の組み合わせで、希望する抵抗値を作り出すときに必要な組み合わせを自動的に計算してくれるソフトウェアがフリーソフトとして公開されています。インターネットで検索すれば見つかります。

2-2-6 抵抗器の実装方法

常識

抵抗器にストレスがかからないように、根元から約1～3mmのところで曲げるようにする。

参照

・はんだ付けの方法
→ p.223

常識

大型の皮膜抵抗器の場合は、プリント基板より少し浮かせて取付ける。

常識

熱がパターンに逃げるようにし、熱の影響を受けやすい部品を周囲に配置しない。

これらの抵抗器を、プリント基板に実装するときには、次のようなことを注意します。

① 穴のピッチを図2.2.4のようにして、抵抗器本体に無理がかからないようにします。また、リード線を曲げるときには、根元ぎりぎりで曲げると抵抗器にストレスがかかり壊れることもあるので、根元から約1～3mmのところで曲げるようにします。また大型の抵抗器を縦型に取り付けるのは、不安定で長期間の振動で抵抗のリード線が折れることもあるので避けるようにします。

② **大型の皮膜抵抗器の場合**：熱が発生するので、プリント基板より少し浮かせて取り付けて、熱が周囲の部品に悪影響を及ぼさないようにします。また周囲に配置する部品も熱の影響が出ないように空間をあけて配置するようにします。

③ **セメント抵抗の場合**：プリント基板にぴったり密着させて取り付けますが、リード線をはんだ付けするパターンを広くして熱がパターンそのものにも逃げるようにします。またこの場合も、周囲には熱の影響を受けやすい部品の配置は避けます。

◆図2.2.4 抵抗器のプリント基板への取り付け方法

2-2-7 チップ抵抗器

表面実装用の小型平板構造の抵抗で、一般用の炭素厚膜形成によるものと、高精度用の金属厚膜形成によるものがあります。

チップ抵抗器は本来小型であるため、高周波特性に優れていて、金属厚膜であれば温度特性や雑音特性も優れています。ただ、許容電力が小さいので、**定格電力を超えることがないように注意**する必要があります。

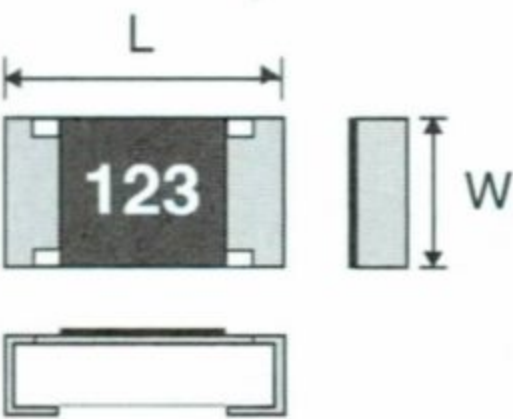
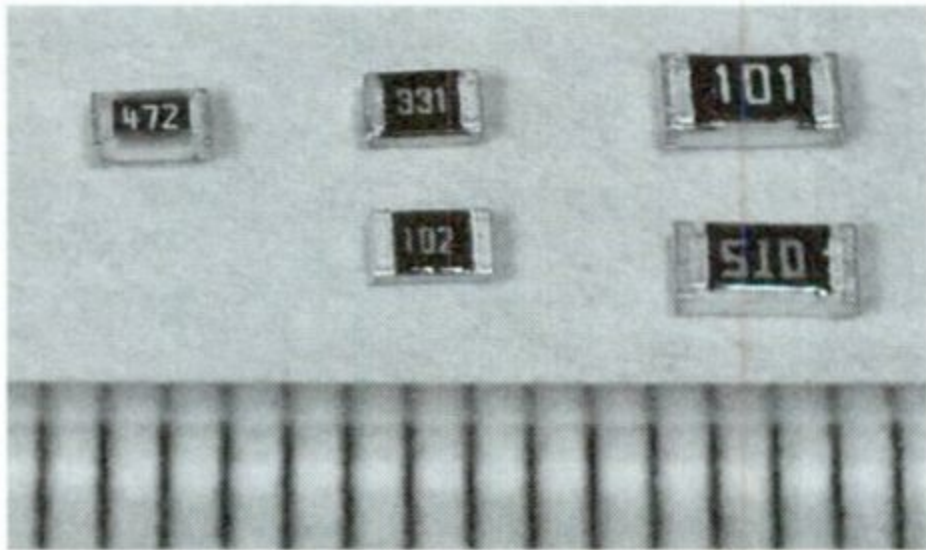
定格電力により寸法が異なっており、電力値よりもタイプ名で呼ばれることが多いようです。タイプ名は実は外形寸法を表しています。寸法の呼称と許容電力値は表2.2.6のようになっています。

アドバイス

チップ抵抗器にはリード線が付いていません。はんだ付けは「表面実装部品のはんだ付け」を参照して行ってください。

なお、チップ抵抗器には極性はありません。

◆表2.2.6 チップ抵抗の寸法

タイプ名	寸法〔mm〕		定格電力〔W〕
	L	W	
0603	0.60	0.30	1/20
1005	1.00	0.50	1/16
1608	1.60	0.80	1/16
2012	2.00	1.25	1/10
3216	3.20	1.60	1/8
3225	3.20	2.50	1/4
5025	5.00	2.50	1/2
6432	6.40	3.20	1

◆図2.2.5

◆写真2.2.1

■チップ抵抗器の抵抗値

ポイント

電力値の大きいチップ抵抗器の場合は、パターンを大きめにし、放熱してやります。

チップ抵抗器の抵抗値は、表面にE24系列の場合は3桁の数値で表記されています。この値は最初の2桁が実数で最後の桁が10の階乗数を表しています。

つまり「101」と表記されていれば、$10 \times 10^1 = 100\,\Omega$、「472」であれば、$47 \times 10^2 = 4.7\mathrm{k}\,\Omega$となります。チップ抵抗を実装するときには、特に電力値の大きいチップ抵抗器の場合には、**パターンを大きめにして、熱の放散がし易いように**してやるのがコツです。

2-2-8 集積抵抗器（抵抗アレイ）

サーメット系の抵抗器で、セラミックの絶縁基体の表面に絶縁体と金属の混合物を高温で焼成したもので、厚膜と薄膜の２種類があり、それぞれ表2.2.7に示すような特徴があります。

◆表2.2.7　抵抗アレイの特徴

名称	集積抵抗器（抵抗アレイ）	
	厚膜型	薄膜型
特徴	印刷法で抵抗体を形成したもので、集積抵抗の大部分がこの方式で製造されている。同一抵抗値で接続形態が限定されている。	蒸着法で抵抗体を形成したもので、高抵抗値が可能。実装された抵抗同士の特性が揃っており、相対誤差が非常に優れている。
性能	定格電力:1/8W／素子 公称誤差:±5%、±2% 温度係数:250ppm/℃ 相対誤差:50ppm/℃	定格電力:1/10W、1/20W／素子 公称誤差:±0.1%、±0.5% 温度係数:50ppm/℃ 相対誤差:5ppm/℃
使い方	デジタル回路のプルアップ抵抗、発光ダイオードなどの電流制限抵抗として使用	オペアンプの周辺抵抗、A/D変換器のラダーなどの高精度が必要なところで使用
回路図記号	一括接続タイプ	独立タイプ 4Sタイプ
外観		

例えばLEDの電流制限用抵抗として下図のように使います。

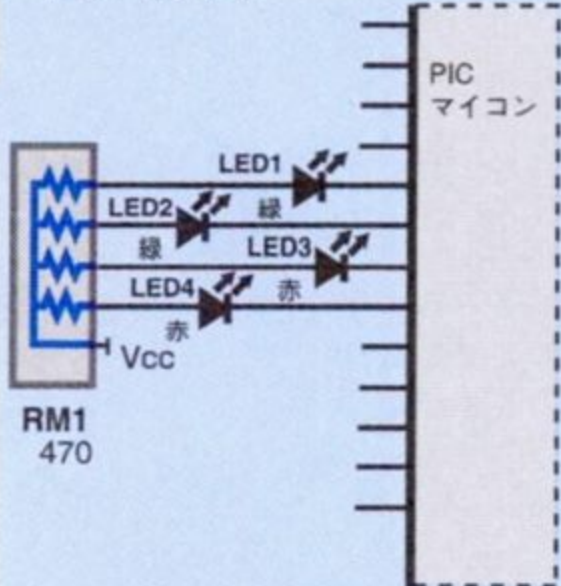
集積抵抗器（抵抗アレイ）の内部実装は、接続配線方法により大きく分けて２種類あります。

① 一括タイプ

全部の抵抗の片方を接続して１ピンに出しているタイプで、電源やグランドにまとめて接続し、**プルダウン**や**プルアップ抵抗**として使います。

② 独立タイプ（Separateタイプと呼ぶ）

１個ずつの抵抗が独立してピンに出ているタイプで、オペアンプ周辺や、電流制限用保護抵抗などに使います。

また内部に実装されている抵抗数も３個から12個に大別されていて、外形寸法も抵抗器の実装個数により表2.2.8、図2.2.6のようになっています。

用語解説

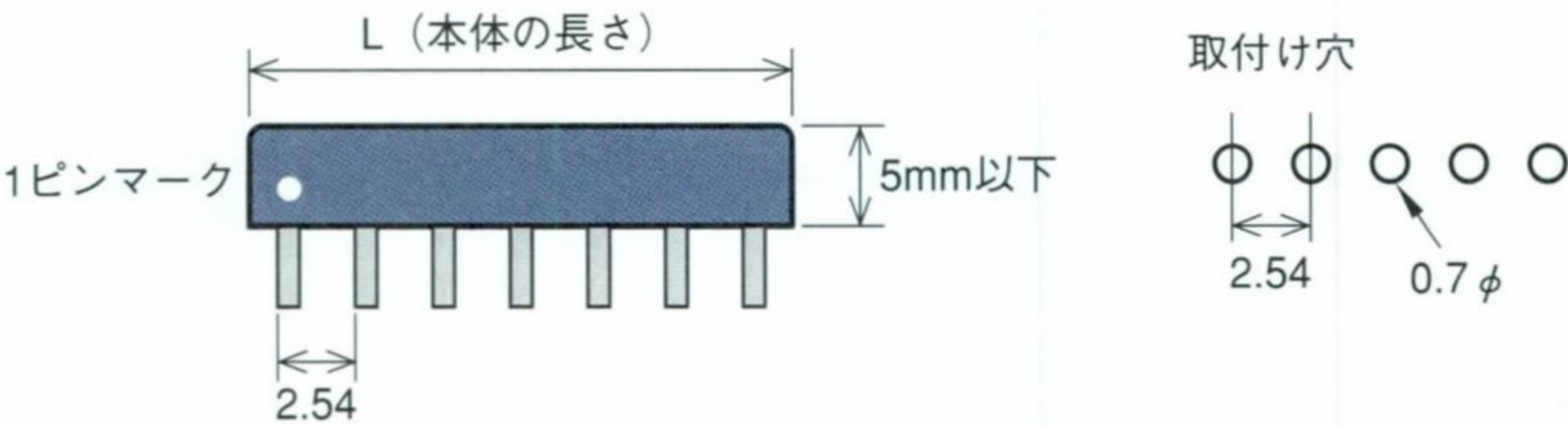
・**プルアップ抵抗**
マイコンの入出力ピンにスイッチを接続するような場合、スイッチがオフのときにピンに電源電圧が加わるように電源とピン間に接続する抵抗。

・**プルダウン抵抗**
入力がない場合に、電位をグランドに確実にするため、ピンとグランド間を接続する抵抗。

注意

集積抵抗器には、縦線または丸の目印（1番ピンマーク）が付いています。取り付ける際は、向きに注意してください。

◆表2.2.8　集積抵抗器の実装個数と寸法

抵抗の実装数	4	8	10	12
ピン数（一括タイプ）	5	9	11	13
L（本体の長さ）	12.6	22.7	27.8	33.0

◆図2.2.6　集積抵抗器の寸法

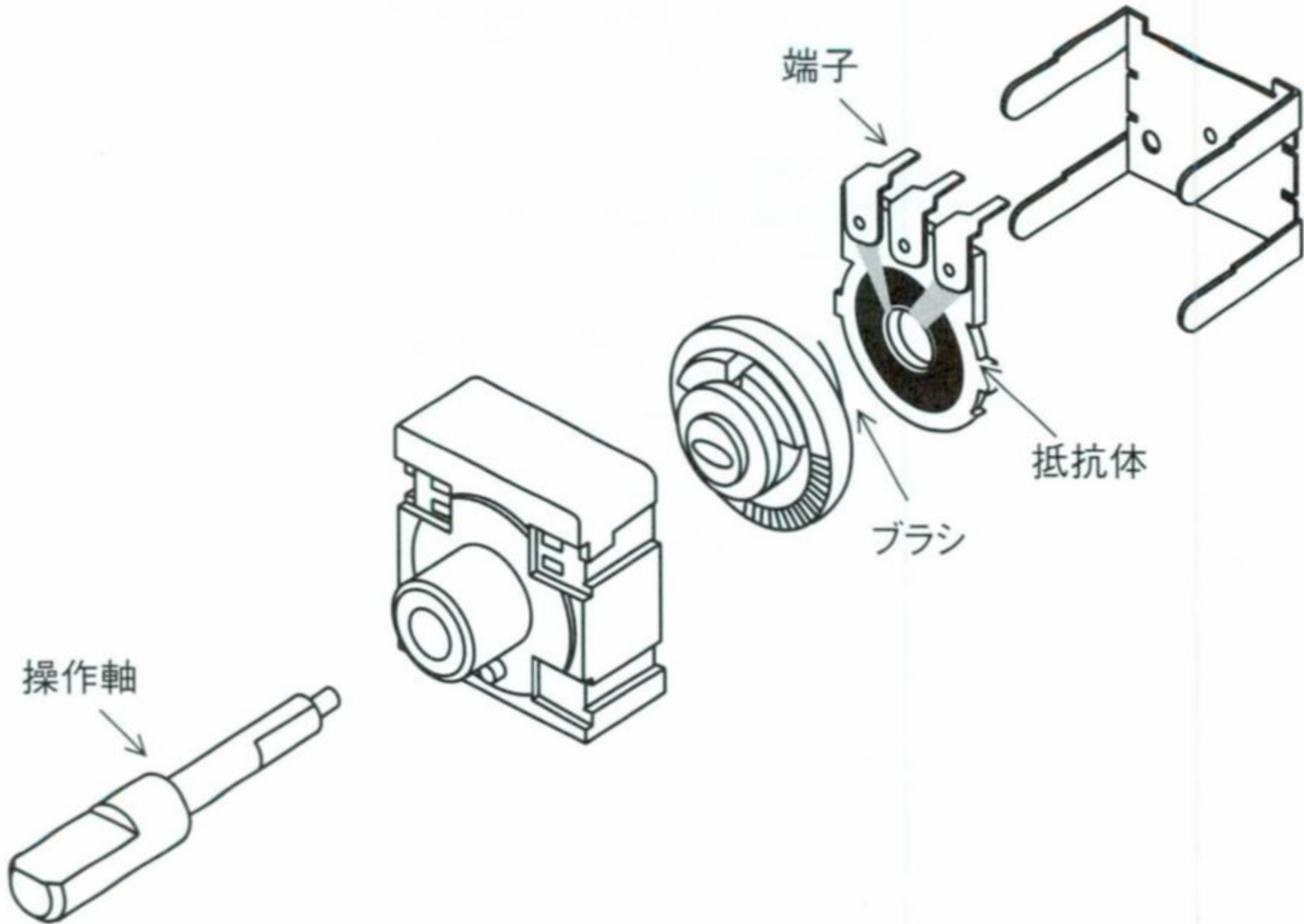
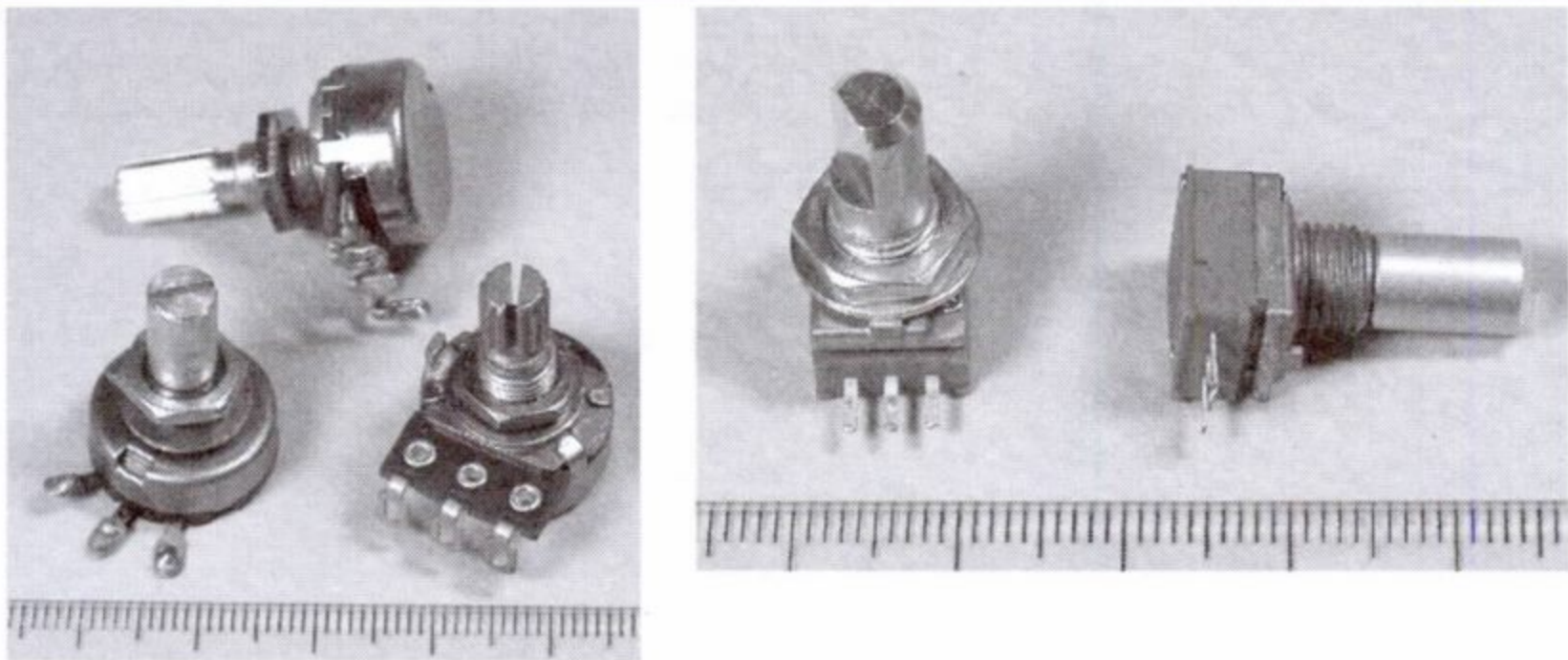
集積抵抗器の取り付けは、1／10インチピッチのICと同じ取り付け穴で行います。ピンの幅もICと同じになるようにされていて、シングルインラインのICと全く同じです。

2-2-9　可変抵抗器（ボリューム）

用語解説

・**可変抵抗器**
抵抗を可変できるようになっている部品。3種類の変化特性がある（p.44参照）。

可変抵抗器（ボリューム）とは、文字通り、抵抗を可変できるようになっている部品です。構造的には、抵抗体の上を可動片がスライドするようになっていて、可動片のある位置により、抵抗が変化するようになっています。したがって端子は3つあることになります。

可変抵抗器の回路図記号としては、表2.2.9が使われます。

◆図2.2.7　可変抵抗器の構造（アルプス電気：ホームページより）

◆表 2.2.9　可変抵抗の回路図記号

回路図記号	略号	単位記号	名称	機能・特徴
VR2 10k または R3 200	VR POT	Ω kΩ MΩ	可変抵抗器 ボリューム 半固定抵抗器	抵抗値を連続的に可変する音量調整や位置調整用に使う。 また半固定抵抗はアンプのゲインなどの調整用に使う。

可変抵抗器には、多くの種類があります。まず形や構造によって大きく表2.2.10の2種類に分かれます。

◆表 2.2.10　可変抵抗器の種類

タイプ名	パネル取り付けタイプ
外観	
特徴	パネルにねじで固定し、シャフトを外部に出して、つまみで変化させることができるタイプ
性能	抵抗値：1kΩ〜2MΩ 寸法：9φ、16φ、27φ 連動：1連〜4連
使い方	いずれもパネルにナットで固定する。丸穴だけでよいので取り付けが簡単

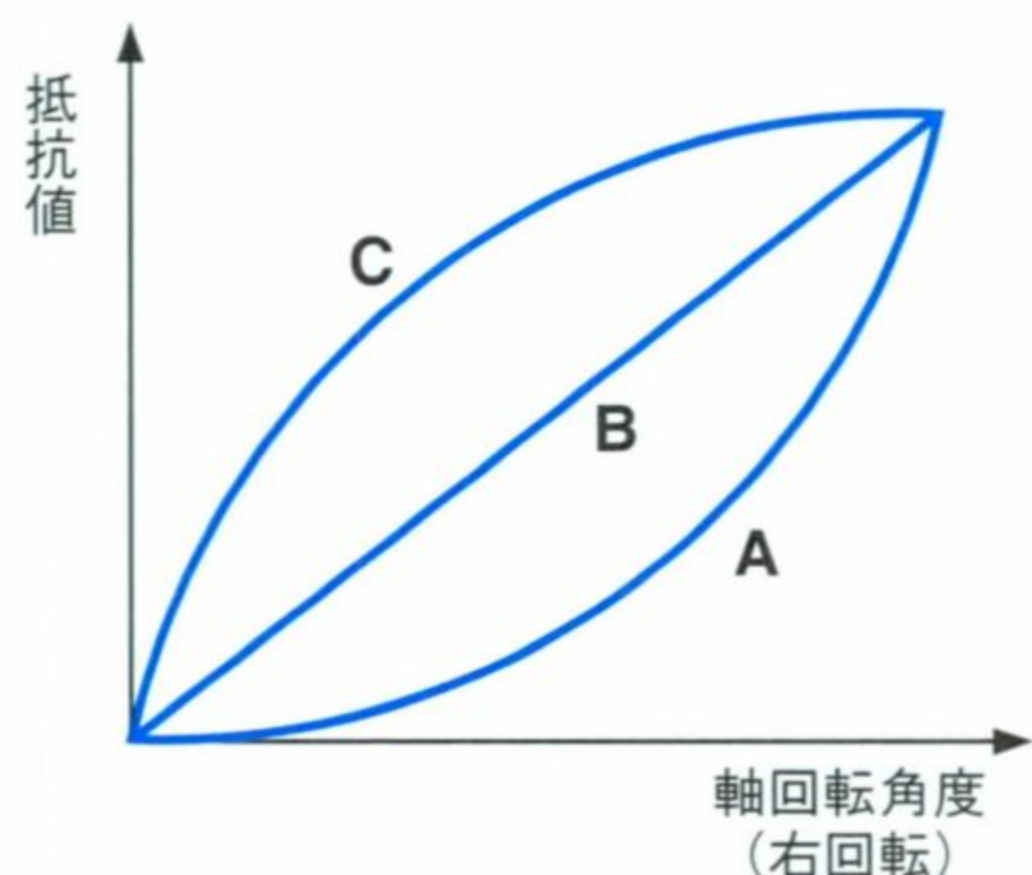
次に抵抗器を形成する抵抗体による種類でいくつかに分類されます。抵抗体には表2.2.11の3種類がよく使われています。

◆表 2.2.11　可変抵抗器の抵抗体の種類と特徴

抵抗体	特　徴
炭素皮膜系	安価で特性もある程度よいので、最も多く使われている。しかし、皮膜がだんだん薄くなって劣化する現象がある。
金属皮膜系	金属皮膜系のため、耐久性と雑音特性に優れており、高級ステレオや測定器などに使われている。
巻線	巻線抵抗を使ったもので、大電流に耐えることができる。しかし、比較的小さな抵抗値のものしかできない。

■可変抵抗器の変化特性

アドバイス
オーディオの音量調節にはAカーブを利用します。

可変抵抗器には、シャフトの回転角に対する抵抗変化の仕方により図2.2.8のような3種類があります。実際に使われているのはAカーブとBカーブの2種類だけで、特によく使われるのは**Bカーブ**で回転角に単純に比例して抵抗が変化します。これに対して**Aカーブ**は、対数曲線に沿った形で抵抗が比例します。目的は、音量や光量などを人間が感じる強さは、対数曲線に従うという特性があるため、人間に比例していると感じさせる調整では、Aカーブが必要とされるためです。

変化特性	特　徴
Aカーブ	回転角に対して、対数変化する。このような特性の用途は、主に**オーディオ用**で、例えば音量調節が回転角に対し、耳で聞いた音量感覚が直線的に変化させたいときに使う（対数特性的なもの）。
Bカーブ	回転角に対して**直線的に抵抗値が変化する**。一般には、こちらのほうがよく使わる。
Cカーブ	入手は難しく一般には使われていない。

◆図2.2.8　可変抵抗器の変化特性

■取り付けのポイント

シャフトのあるパネル取り付け型の可変抵抗器は大きさが何種類かありますが、取り付け寸法はほとんど同じになっていて、図2.2.9のようにします。取り付けのときのポイントは下記のようになります。

① 空回り防止用の突起の穴あけを忘れないこと。

本体のケースにシャフトと一緒に本体が回ってしまわないように、空回り防止用の突起があります。これをパネルにあけた穴に挿入して引っかかるように

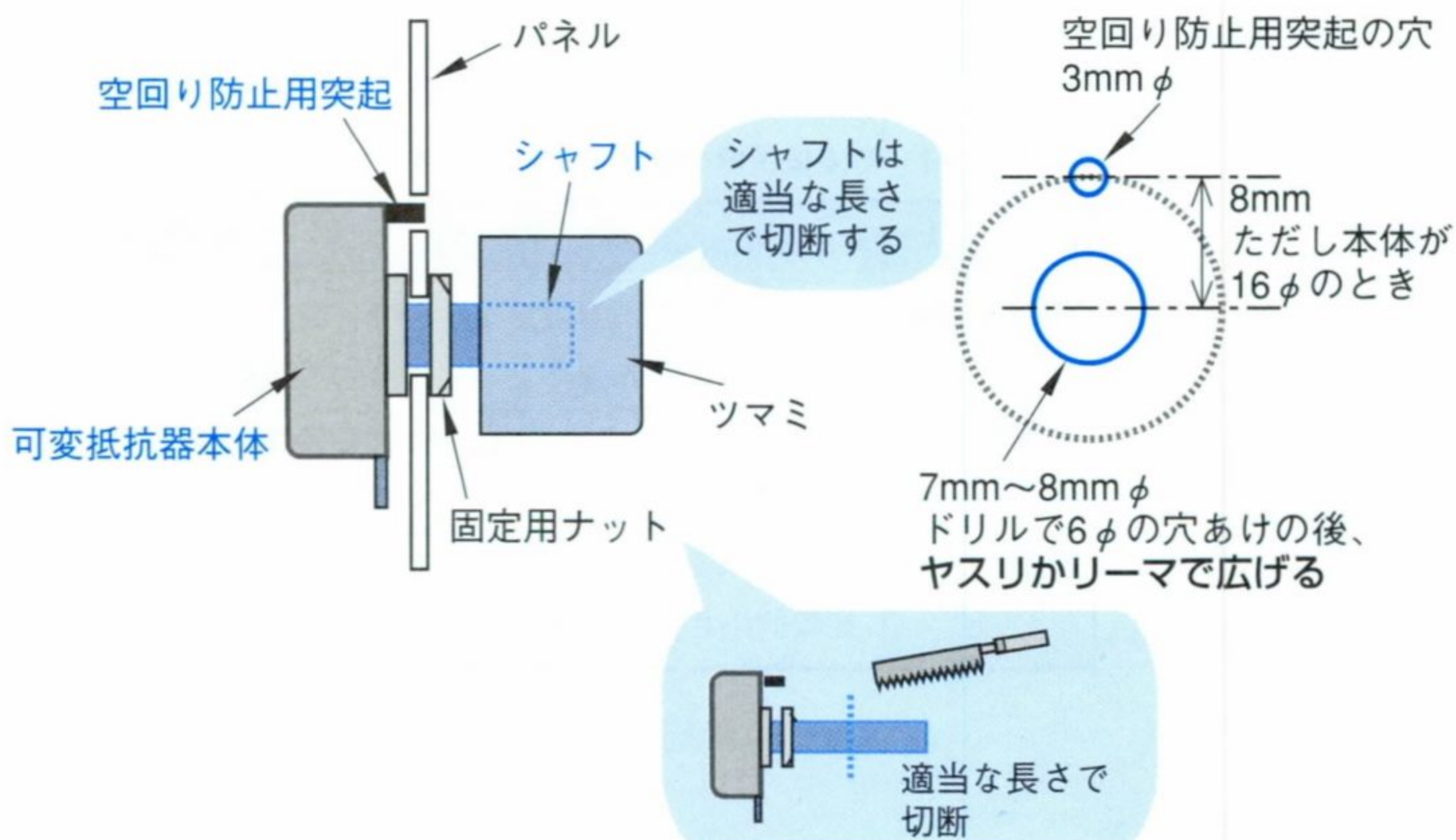
◆図2.2.9　可変抵抗器の取り付け方

します。

② **シャフトは適当な長さで切断する。**

切断は、シャフト側を万力で固定して、金きり鋸で切り落とします。

③ **後から配線するときに配線用の端子が隠れないように取り付けること。**

ケースの外からはんだこてが入る位置に、端子が見えるようにしておきます。

注意

シャフトを切断する際、本体に無理な力が加わらないように気をつけること。

2-2-10 半固定抵抗器

プリント基板などに実装される可変抵抗器で、計測用アンプなどのゲイン調整や、オフセット調整などいろいろな目的で使用されます。回路図記号としては、可変抵抗器と同じ表2.2.12が使われます。

用語解説

・**半固定抵抗器**

抵抗を可変できるようになっている部品。一度変更（調整）したら、あまり動かさないところに使う。主に、性能調整用に使われる。

◆**表2.2.12　半固定抵抗器の回路図記号**

回路図記号	略号	単位記号	名称	機能・特徴
VR2 10k または R3 200	VR POT	Ω kΩ MΩ	半固定抵抗器	プリント基板などに取り付け、アンプのゲインやオフセットなどの微調整に使う。

半固定抵抗器には、多回転型と1回転型があり、多回転型は高精度型ともいい、15回転や25回転で可変範囲を一巡するので微妙な設定が可能となっています。半固定抵抗器にも使用している抵抗体による区別がありますが、最近は大部分がサーメット系となっているようです。外観と性能は表2.2.13のようになっています。

◆**表2.2.13　半固定抵抗器の外観と性能**

項　目	1回転型半固定抵抗器	多回転型半固定抵抗器	チップ型1回転半固定抵抗器
外観写真			
性能	1回転型	多回転型	1回転型
抵抗範囲	10～5MΩ	10～2MΩ	50～2MΩ
許容差	±20%	±10%	±20%
定格電力	0.5W	0.5W	0.125W
温度係数	±100ppm/℃	±100ppm/℃	±100ppm/℃
使い方	いずれもプリント基板の3つの取り付け穴に直接はんだ付けして固定し使用する。		プリント基板に表面実装して固定。抵抗値の表記はないものが多い。

■取り付けのポイント

半固定抵抗器の寸法と取り付けは図2.2.10のようにしますが、このときの注意事項は下記のようなことです。

アドバイス
半固定抵抗器はドライバで調整します。そのため、実装後にドライバがとどかないと調整できません。

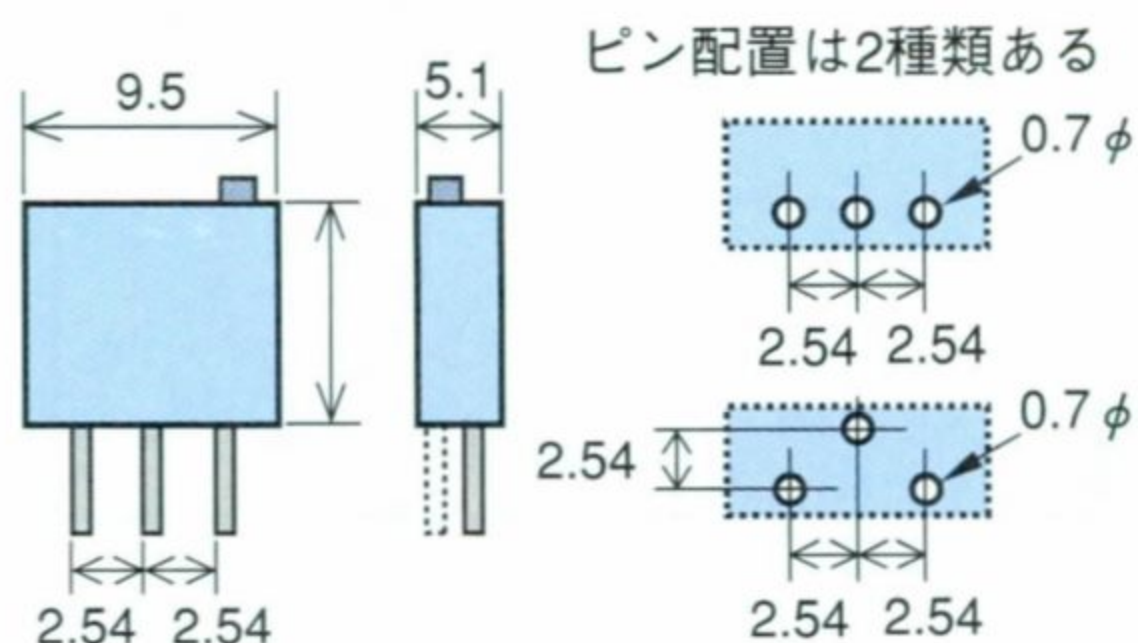
① 調整ねじの上を塞がないこと

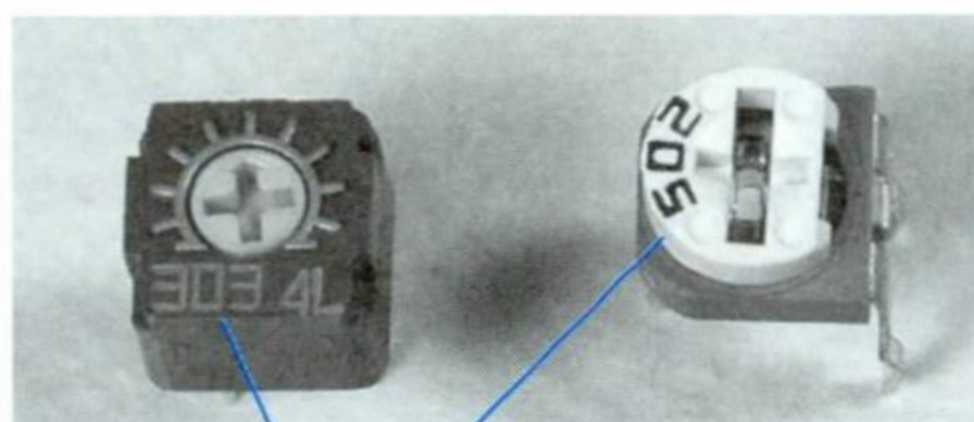
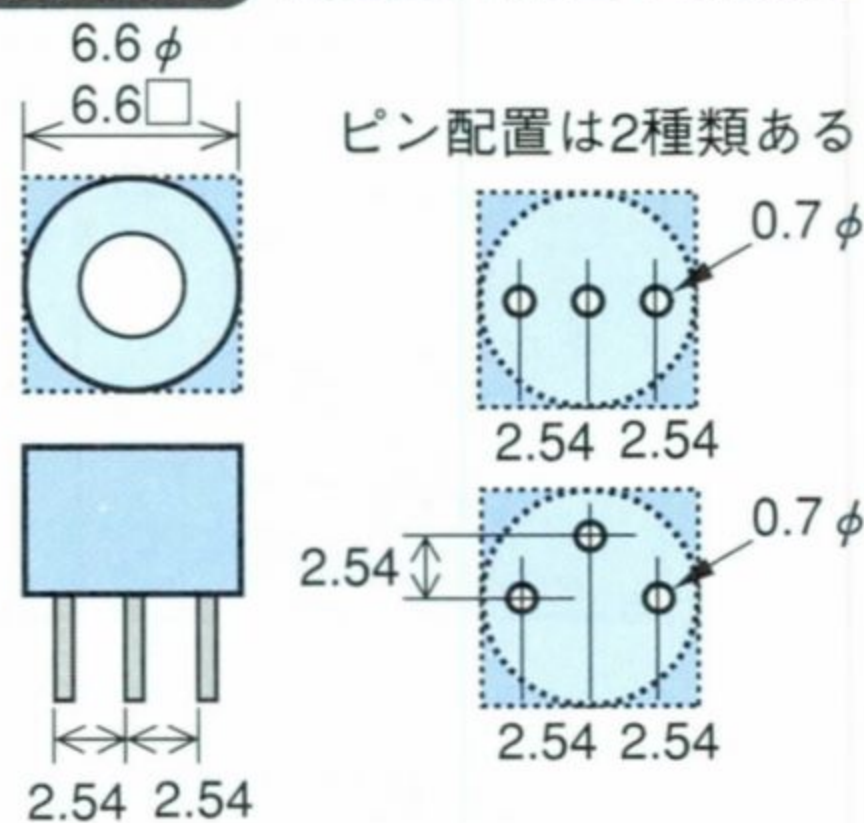
あとで調整するドライバが入らないことがないようにしておくことで、特に横向きに調整ねじがあるものは注意が必要です。

② 端子に無理がかからないようにすること

取り付けが合わないと端子にストレスがかかり、勝手に調整位置がずれてしまうこともあります。

(a) 多回転型

ピン配置は2種類ある

(b) 回転型　丸型と四角型の2種類がある

ピン配置は2種類ある

【抵抗値の表示例】

半固定抵抗器には、それぞれ抵抗値が表示されている。例えば、「303」と表示されていれば、
$30 \times 10^3 = 30k\Omega$
「502」と表示されていれば、
$50 \times 10^2 = 5k\Omega$
となる。

◆図2.2.10　半固定抵抗の寸法と取り付け方

2-3 コンデンサ

参考

日本ではコンデンサと呼ばれていますが、アメリカではキャパシタ（capacitor）と呼ばれています。

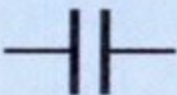
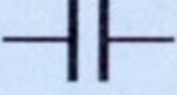
常識

定格電圧の範囲内で使用すること。

コンデンサには極性があるもの（電解コンデンサなど）がある。

コンデンサは、直流には電気を貯める働きを、交流には周波数により抵抗値の変わる「抵抗」（この場合の抵抗を**リアクタンス**と呼ぶ）として機能します。この電気を貯められる量を**静電容量**（せいでんようりょう）（略して「容量」）といい、単位は**F**（**ファラド**）です。しかし、1Fというのは膨大な量を貯えられる量で、電子回路ではこれほどの大きな容量のものはあまり使いません。通常は、

pF（ピコ（$=10^{-12}$）ファラド）

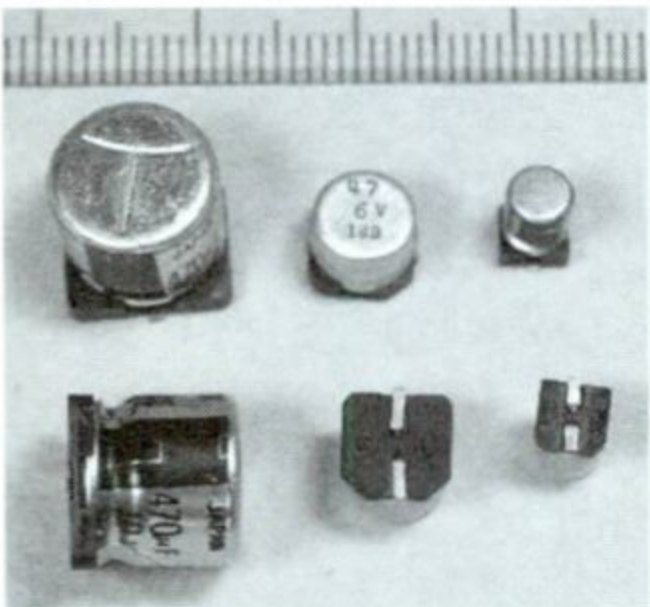
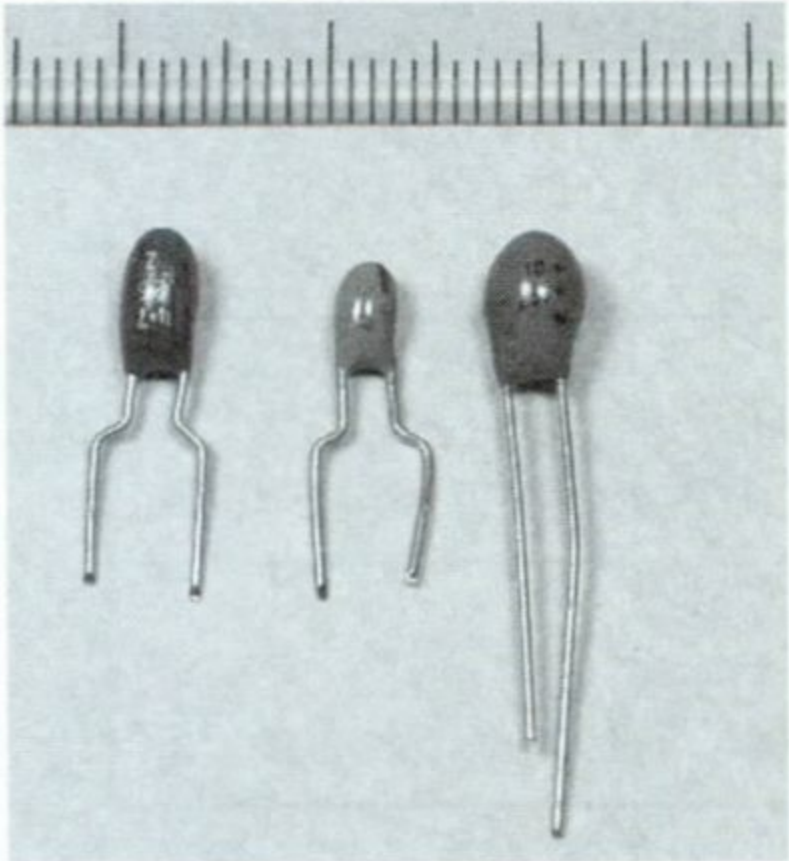
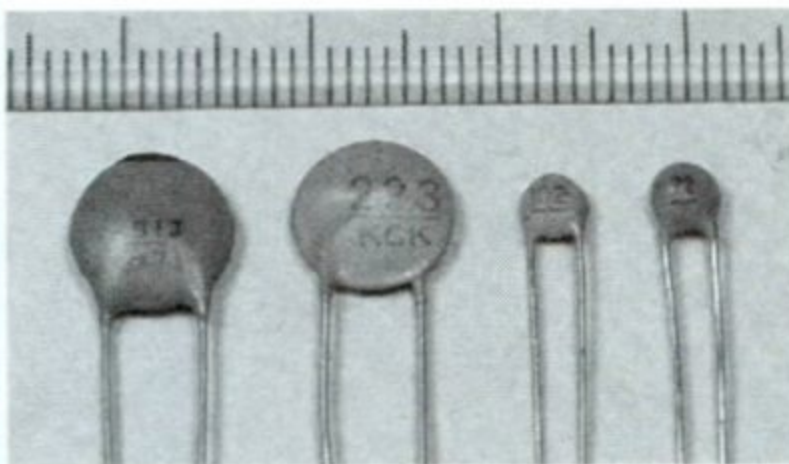
μF（マイクロ（$=10^{-6}$）ファラド）

を用います。

また、コンデンサの電極間にかけることのできる最大電圧を**定格電圧**（耐電圧）といい、これ以上の電圧を加えるとコンデンサがこわれます。またコンデンサには極性（＋、－の区別）があるものがあり、これを逆に接続すると性能が出ないだけでなく、俗に「パンク」といって破裂して壊れますので注意が必要です。

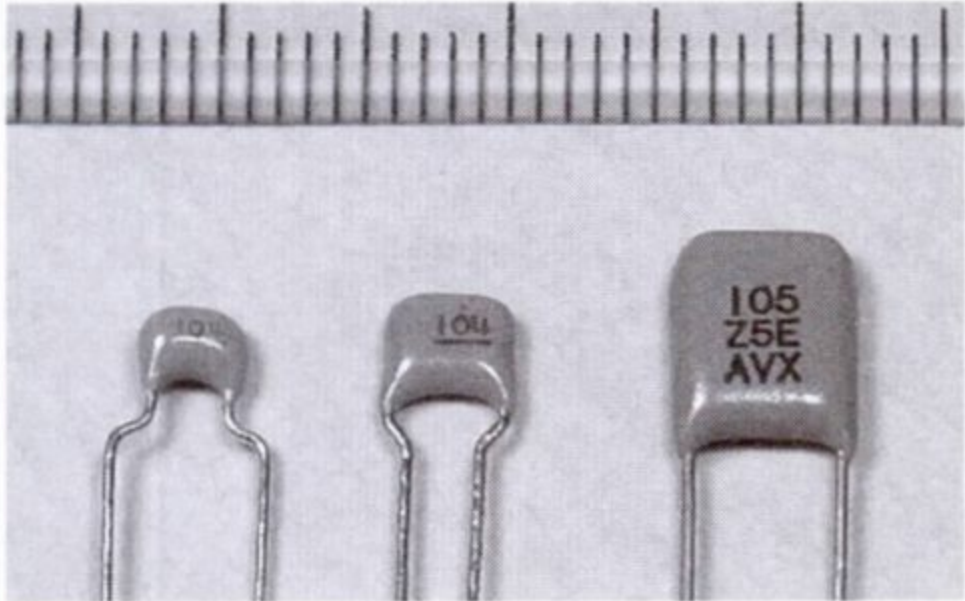
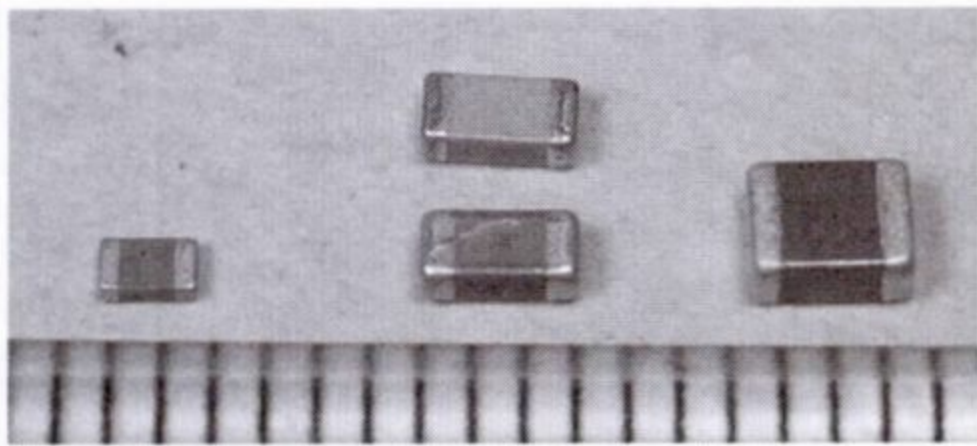
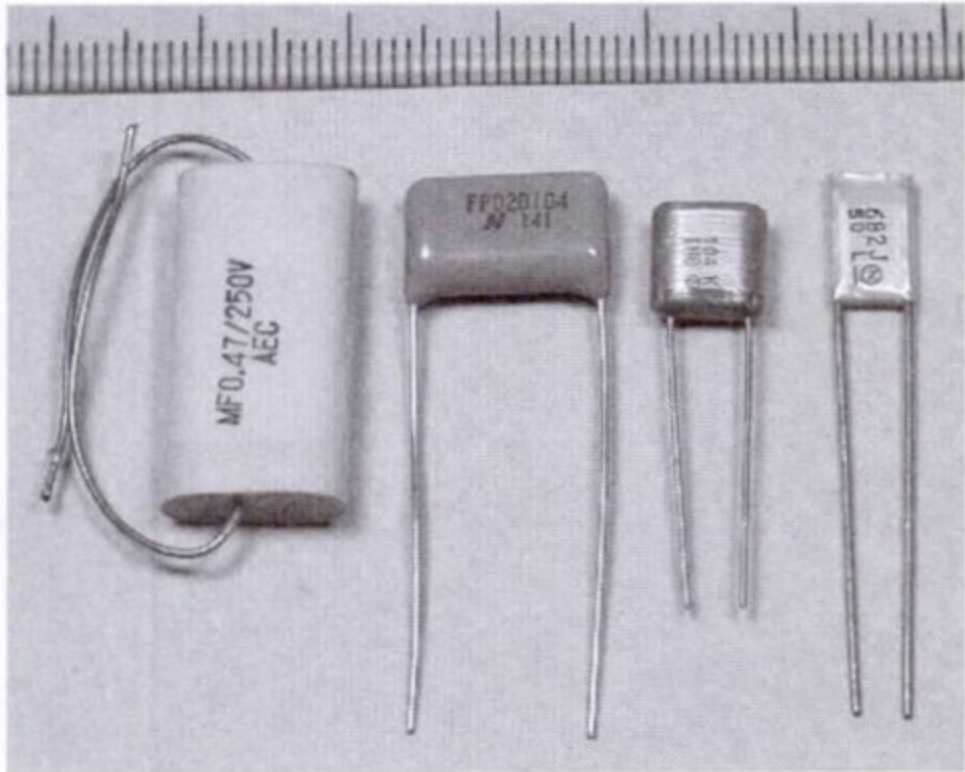
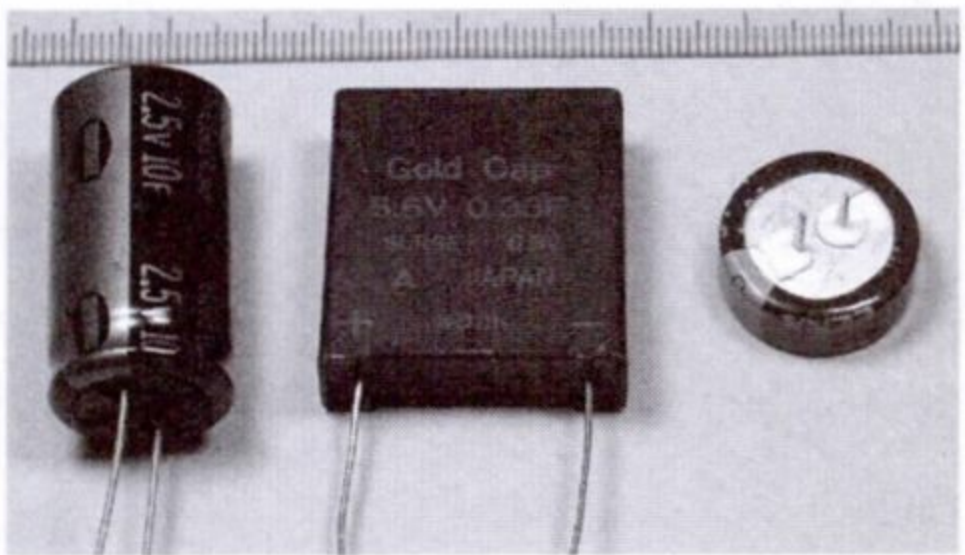
2-3-1 コンデンサの回路図記号

コンデンサにはいくつかの種類がありますが、回路図で表現するときには表2.3.1の3通りが多く使われています。特に回路図では単位を省略する場合も多いので数値で単位を判断します。

◆表2.3.1　コンデンサの回路図記号

回路図記号	略号	単位記号	名称	機能・特徴
C4 20pF	C	pF	コンデンサ	小型の同調回路用で容量が小さい。 セラミックコンデンサが多く使われている。
C1 0.01	C	μFだが省略される	バイパスコンデンサ	高周波バイパス用 セラミックコンデンサが多く使われている。 容量は0.1、0.02など小数点つきで表現される。
C3 10μF 25V	C	μF　V	電解コンデンサ	低周波バイパス、平滑用。 極性有り。耐電圧に注意。 耐電圧を容量値と一緒に併記することも多い。

2-3-2 コンデンサの種類

コンデンサには、主に容量値を実現するために使う**誘電体**の材料により多くの種類があります。しかし私たちが電子工作でよく使うコンデンサの種類はあまり多くはなく、表2.3.2(a)、(b)のようなものです。

それぞれに、容量、耐電圧、周波数特性（両端にかける周波数をどの程度高くできるか)、漏れ電流、内部抵抗などによってさまざまな特徴があり、使い分けが必要です。特にコンデンサを使うときには周波数特性が重要で、おおまかに、高

◆表2.3.2(a)　コンデンサの種類

種類	外観	特徴	使い方
アルミ電解コンデンサ		容量が大きい（0.1μF～15,000μF） ±の極性がある 定格電圧がありそれ以下で使用（2V～500V） 許容差が大きい（±10%、±20%、−10%～＋30%） 低周波帯域用（DC～数100kHz） 表面実装タイプもある	・直流回路の電源フィルタや交流回路のカップリングやフィルタとして使う ・使用可能周波数が低いので要注意 ・オーディオ用で特別低雑音用という種類もある ・2本のリード線の長い方がプラス極
タンタルコンデンサ		小型で容量が大きい（0.1μF～220μF程度） ±の極性がある 定格電圧が比較的低い（3V～35V）	・周波数特性が比較的よい（DC～数10MHz） ・漏れ電流が少ない ・周波数特性が比較的よいので、ノイズリミッタやバイパス、カップリング、電源フィルタとして使う ・逆極性で使うと破裂するので要注意
セラミックコンデンサ		比較的容量が小さい（数pF～数千pF） 適用周波数帯域が広い（数kHz～数GHz） 定格電圧があるが高電圧に耐える（25V～3kV） 温度補償用として温度係数が管理されているものがある（写真左端の円盤上部に色づけされているもの） 許容差は大きい（±10%、±20%）	・高周波帯域での使用に適しているので高周波用バイパス、同調用、高周波フィルタとして使う ・極性はないのでどちら側でもよい

周波用にはセラミックコンデンサを、低周波用には電解コンデンサを使います。オーディオなどで特に低雑音にしたいときにはフィルムコンデンサを使います。

ちなみにアルミ電解コンデンサは、誘電体にアルミを使用したコンデンサで、内部構造は図2.3.1のようになっています。

◆表2.3.2(b)　コンデンサの種類

種類	外観	特徴	使い方
積層セラミックコンデンサ		セラミックコンデンサに比べ容量が大きい(数μFまで) 適用周波数帯域が広い 定格電圧はセラミックに比べ低い 温度による容量変動が大きい	・安価であるため電源のバイパス用に多用される
チップ型積層セラミックコンデンサ		小容量から大容量まである（数pF～数10μF） 適用周波数が広い 定格電圧は低い（数10V程度までのものが多い） 容量値の表示がないので要注意	・安価であるため電源のバイパス用に多用される ・リード線がないので高周波回路に最適
フィルムコンデンサ	（マイラーコンデンサ、 ポリカーボネートコンデンサ、 ポリスチレンコンデンサ、 ポリプロピレンフィルムコンデンサ）	種類が多いが全体的に周波数特性に優れている 絶縁抵抗が高く漏れ電流が少ない 容量は比較的小さい（数pF～数μF程度） 温度特性がマイナスのものは温度補償用に使う 極性はない マイラコンデンサとも呼ばれる	・温度特性に優れ雑音特性が良いためオーディオに多用される ・熱に弱いのではんだ付けに要注意 ・もれ電流が少ないのでサンプルホールド回路などに使う ・ポリプロピレンフィルム コンデンサは特に絶縁特性がよく、測定器などに使われる
電気二重層コンデンサ		特別に大容量なコンデンサ（0.01F～数千F） 定格電圧が比較的低い（数Vが一般的） 周波数特性は悪い ±の極性がある 商品名：スーパーキャパシタ、ゴールドキャパシタ	・直流の蓄電用、バッテリの代用として使える ・メモリのバックアップ電池代用やモータ駆動用に使う

用語解説

・**誘電体**

直流電流を通さない絶縁体だが、電極間に挿入すると、空気よりたくさんの電荷を蓄えられるようになる。これで小型で大容量のコンデンサができる。

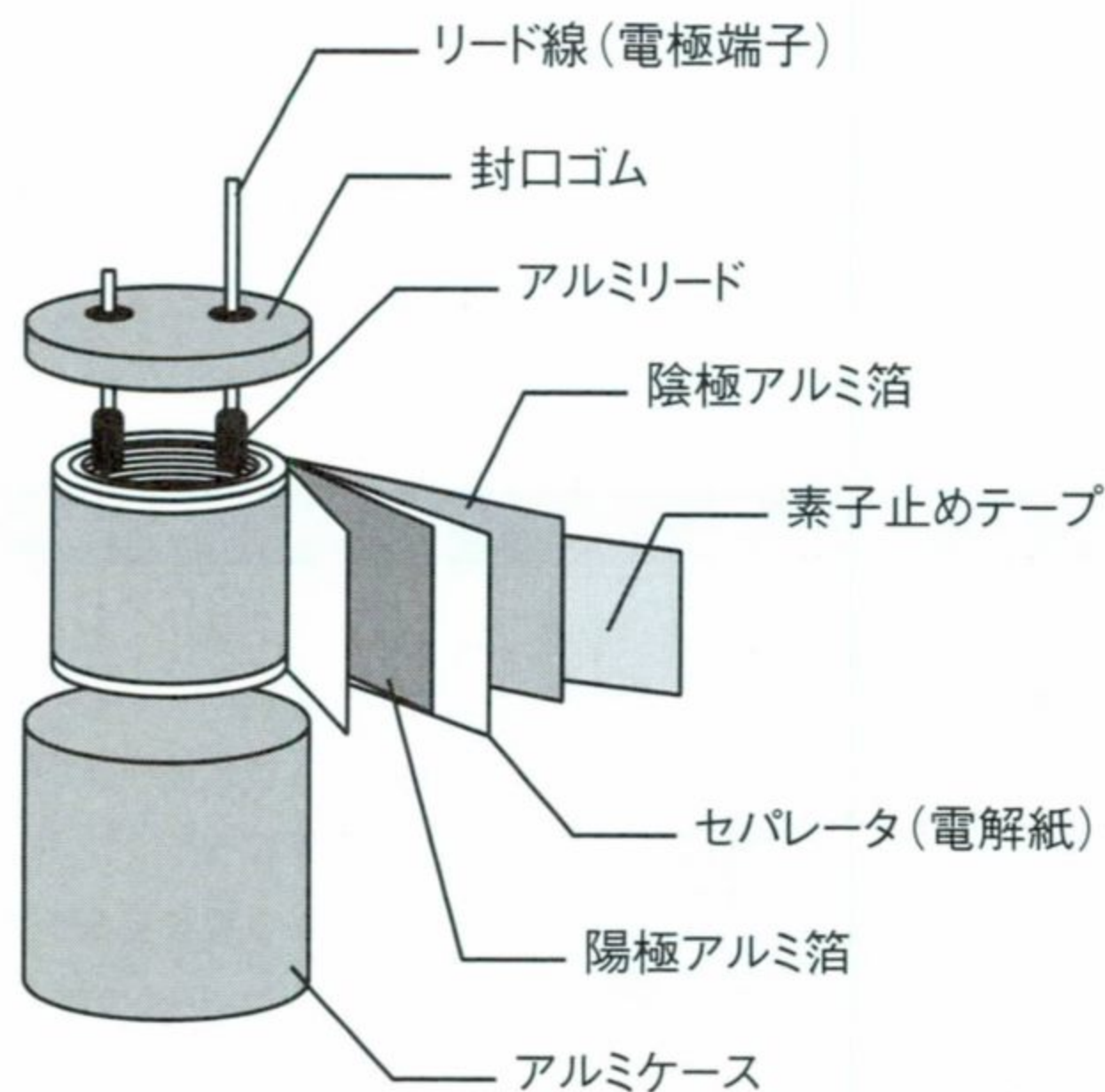
常識

使用する際は、特徴に合わせて使い分けること。

高周波用：セラミックコンデンサ。

低周波用：電解コンデンサ。

オーディオ、特に低雑音にしたいとき：フィルムコンデンサ。

リード線（電極端子）
封口ゴム
アルミリード
陰極アルミ箔
素子止めテープ
セパレータ（電解紙）
陽極アルミ箔
アルミケース

◆図2.3.1　アルミ電解コンデンサの構造（日本ケミコンより引用）

2-3-3　容量値と定格電圧

コンデンサの大きさつまり容量値はどう表現されているかを説明します。コンデンサの容量は許容差が大きく精度は高くないので、容量値を細分しても意味がないため、抵抗の項で説明したJISのE系列の中で、「**E3系列**」か「**E6系列**」が採用されています。したがって一般に入手できる値は下記となります。

E3系列	1.0		2.2		4.7	
E6系列	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8

実際のコンデンサには、上記値と桁表示を一緒にして下記のような2つの方法で容量値が示されています。

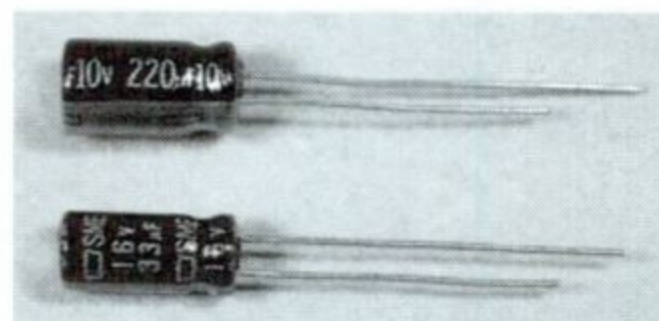
参考

・コンデンサの実装

→ p.54

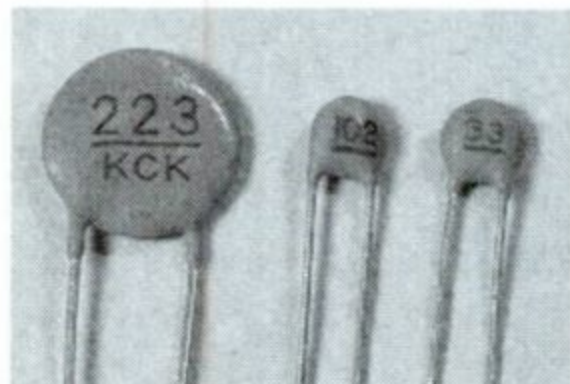
■電解コンデンサ、タンタル電解コンデンサ、電気二重層の場合

普通は下記のように、2項目が直接数値で表現されています。

220 μF → 容量値
10V　 → 定格電圧
「ー」記号と色帯があって
短い方が負極側のリード

■セラミックコンデンサやフィルムコンデンサの場合

一般的に下記4桁の表現となっています。単位は「pF」です。

223K　→　これは 22×10^3pF＝0.022 μF　±10％

上位2桁　容量値有効数値2桁
3桁目　　10の階乗数
4桁目　　許容差

アドバイス
ちなみに、
0.0022 μF＝
2200pF
です。

これを簡単に見るための早見表が表2.3.3になります。

許容差の表示は次の通りです
J：5％以内　K：10％以内
M：20％以内

◆表2.3.3　コンデンサ容量早見表

表示	pF	nF	μF
101	100	--	--
221	220	--	--
102	1000	1	0.001
103	--	10	0.01
223		22	0.022
473	--	47	0.047
104	--	--	0.1
105	--	--	1

2-3-4 コンデンサの並列接続と直列接続

参照
・合成抵抗 → p.38

コンデンサを並列や直列に接続したときの容量、耐圧は、図2.3.2のように求めることができます。これで、1個では容量が不足するときは、数個並列に接続すれば2倍、3倍と増えます。電源の平滑(へいかつ)用の場合には、複数個のコンデンサを並列接続すると特性が改善されます。

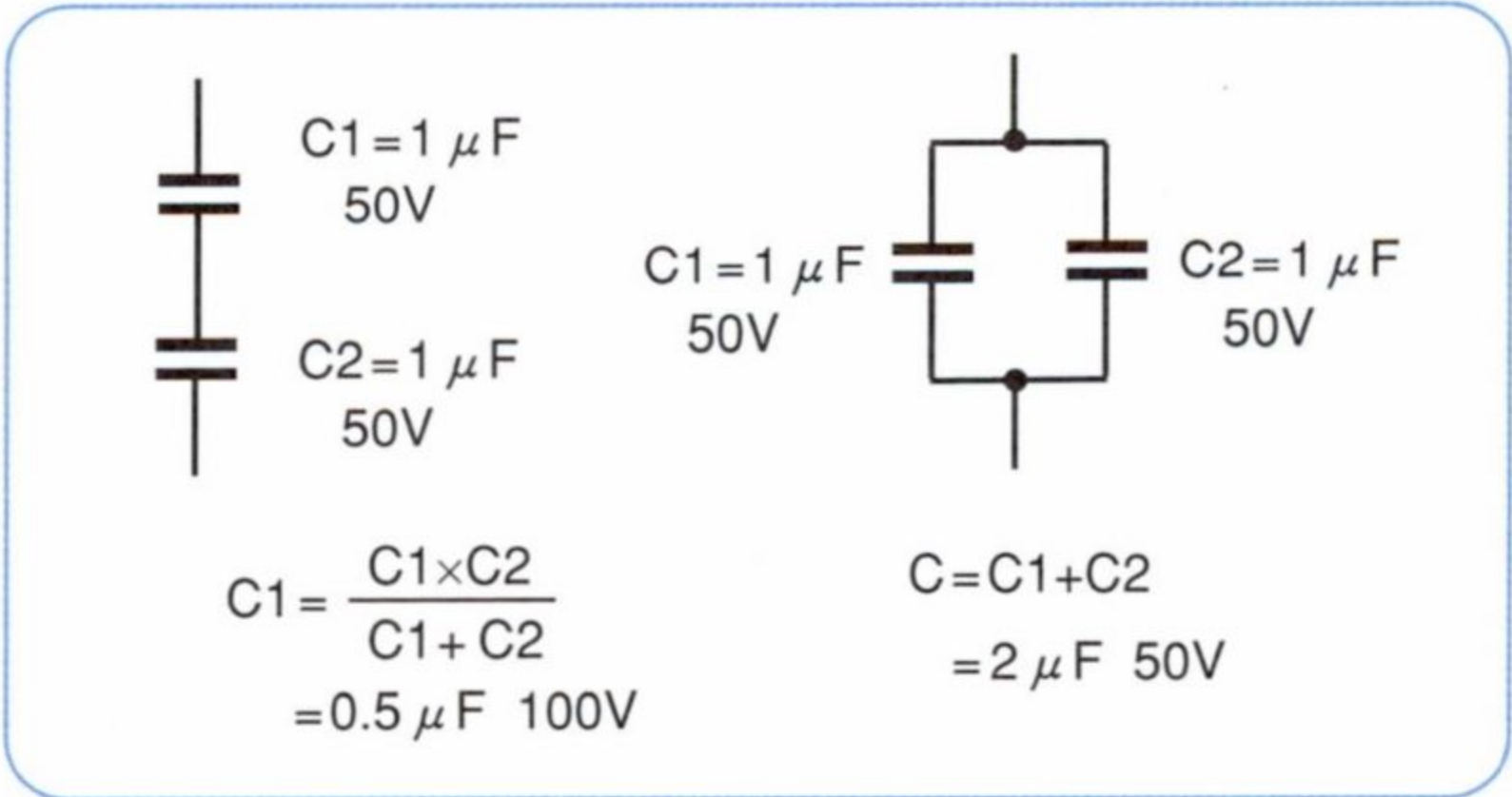
また耐圧が不足する場合には、コンデンサを直列接続にすると、高めることができますが、容量が異なると容量の小さい方に高い電圧が加わりますので注意が必要です。さらに、直列にすると合成容量が小さくなることにも注意が必要です。

注意
容量が異なるコンデンサを直列に接続すると、容量の小さい方に高い電圧が加わるので注意すること。さらに直列に接続した場合、合成容量は小さくなるので注意。

C1＝1 μF
50V
C2＝1 μF
50V

$$C1=\frac{C1\times C2}{C1+C2}$$
＝0.5 μF　100V

C1＝1 μF
50V
C2＝1 μF
50V

C＝C1+C2
＝2 μF　50V

◆図2.3.2　コンデンサの直列、並列接続

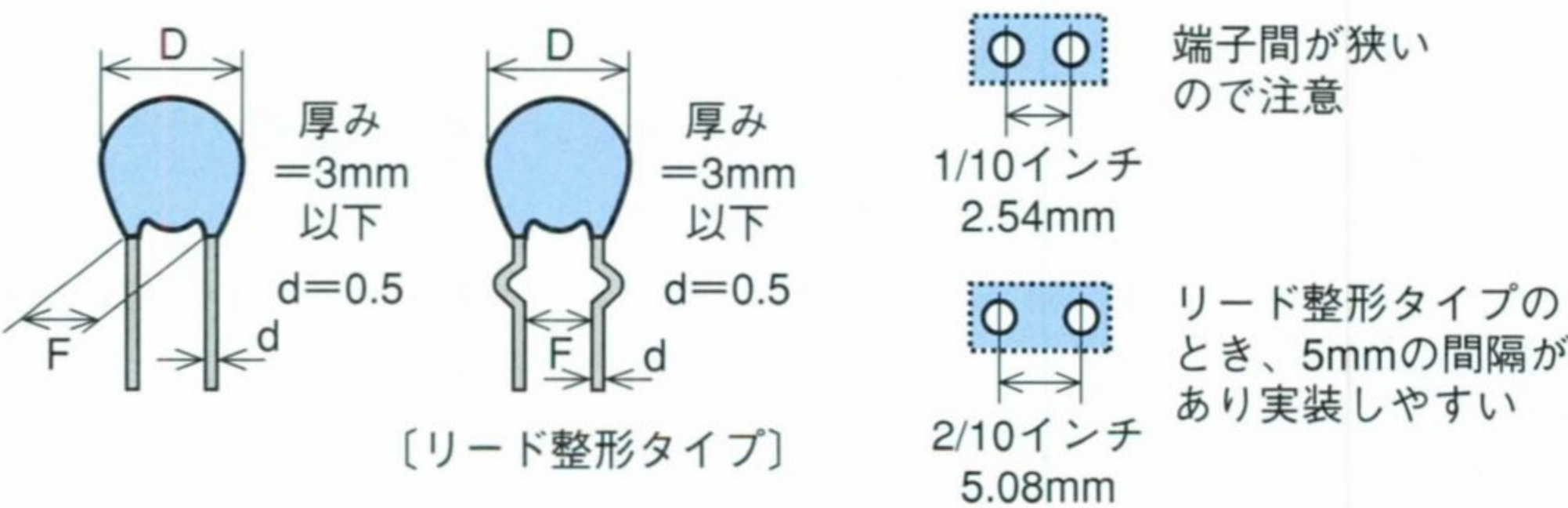
2-3-5 コンデンサの寸法

コンデンサには多くの種類がありますが、その中でも電子工作によく使うコンデンサの、容量と寸法はそれぞれ下記のようになっています。

(1) セラミックコンデンサ（積層セラミックコンデンサ）

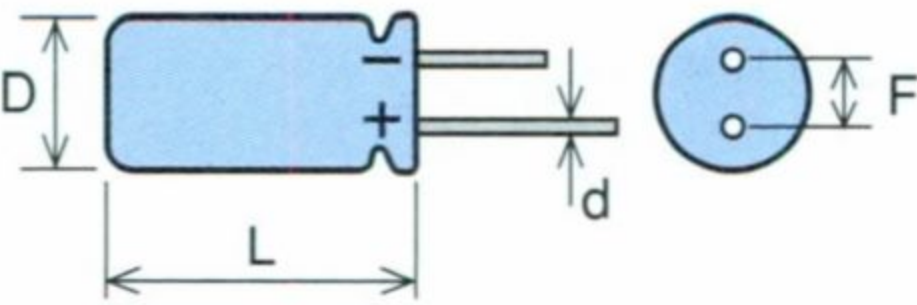
セラミックコンデンサ（**積層セラミックコンデンサ**）は、一般に使うのは大部分定格電圧が50Vの円盤型のもので、容量と寸法は表2.3.4、図2.3.3となっています。許容差の違いにより大きさが2種類あります。

◆表2.3.4 セラミックコンデンサの容量と寸法

容量値〔pF〕	D（直径）	d（リード太さ）	F（取付け寸法）
1〜1,500	4	0.4	2.5、整形5.0
〜1,800	4 or 5	0.4	2.5、整形5.0
〜2,700	4 or 6	0.5	5.0
〜4,700	4 or 7.5	0.5	5.0
〜5,600	5 or 8	0.5	5.0
〜8,200	6 or 10.5	0.5	5.0
〜10,000	8 or 11	0.5	5.0

◆図2.3.3 セラミックコンデンサの寸法と実装

(2) アルミ電解コンデンサ

> **注意**
> 電解コンデンサを取り付ける際は、極性に注意。足が長い方が＋。

アルミ電解コンデンサは、容量と定格電圧で分類され、非常に種類が多くなっています。基板取り付けが可能なリードタイプでは、定格電圧は6.3Vから50V程度までで、容量値は1μFから15,000μF程度までとなっています。基本的な寸法は図2.3.4に示す7種類の直径の円筒形となっています。

D	5	6.3	8	10	12.5	16	18
F	2	2.5	3.5	5	5	7.5	7.5
d	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8

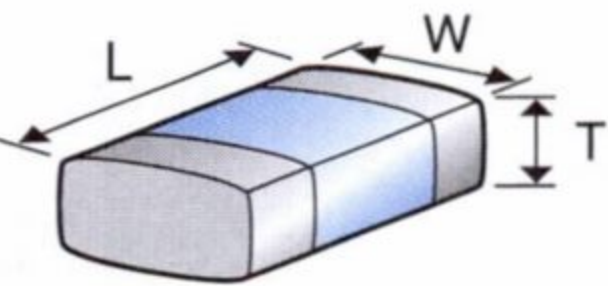
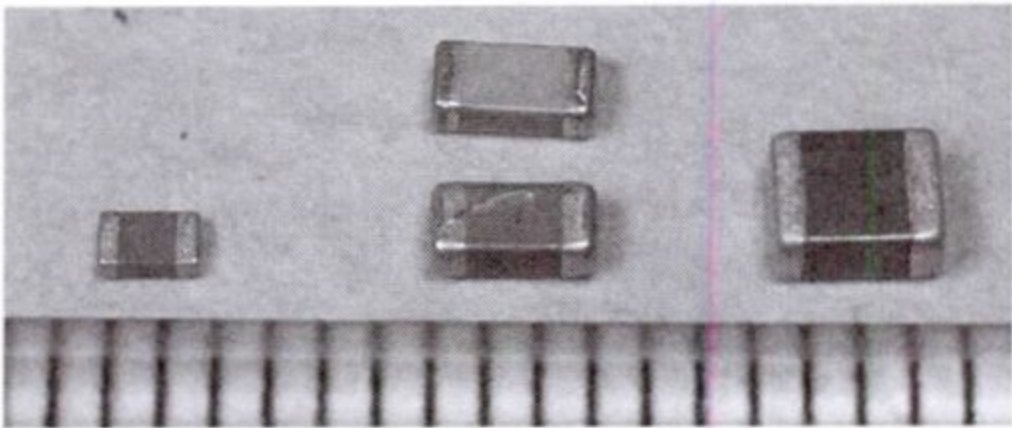
◆図2.3.4 アルミ電解コンデンサの寸法

(3) チップ型（積層）セラミックコンデンサ

最近は大容量のチップ型が開発され、高周波特性もよいので電源のバイパス用コンデンサとして多用されています。**チップ型（積層）セラミックコンデンサ**のサイズは、表2.3.5が代表的なものです。

◆表2.3.5 チップ型（積層）セラミックコンデンサの寸法

タイプ名	寸法			備考
	長さL	幅W	厚みT	
1005	1.0	0.5	0.5	容量と耐圧が高くなると厚みが増す
1608	1.6	0.8	0.8	
2012	2.0	1.25	0.85、1.0、1.25	
3216	3.2	1.6	0.85、1.15、1.6	

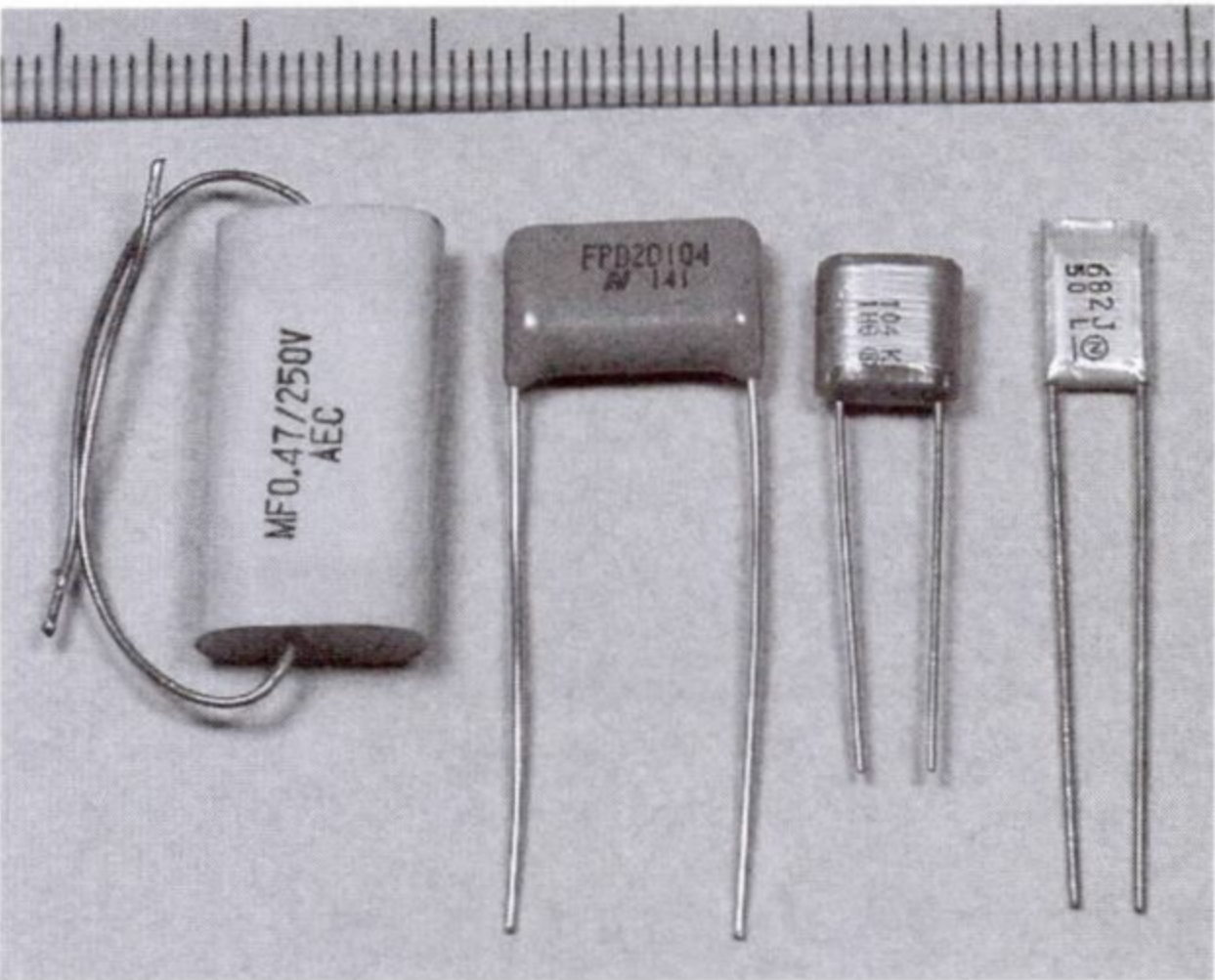
L W T

◆図2.3.5

◆写真2.3.1 チップ型（積層）セラミックコンデンサ

参考
写真のように、表記がない（捺印していない）ものが多いので、保管時に区別しておくとよいでしょう。

(4) フィルム コンデンサ

フィルムコンデンサは、フィルムに使う材料により非常に多くの種類があります。いずれも絶縁特性がよく、周波数や温度による容量変化も小さいため、高精度のアナログ回路によく使われます。フィルムコンデンサの寸法は、種類と容量、耐圧により大きく異なりますので、メーカのデータシートで確認する必要があります。

またフィルムの特性上、熱に弱いので、取り付けの際のはんだ付けはできるだけ手早く行うのがコツです。

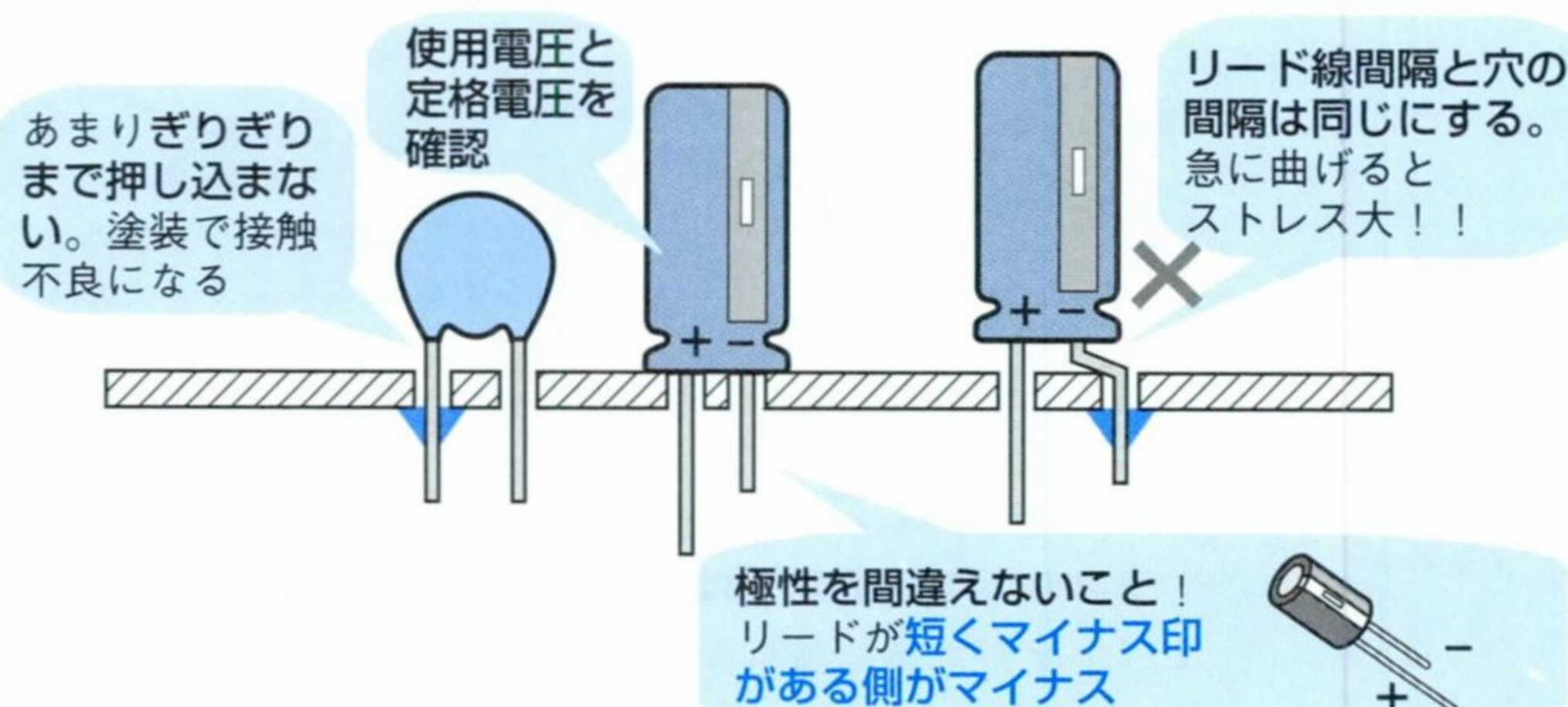
MF0.47/250V AEC
FPD2D104

◆写真2.3.2 フィルムコンデンサ

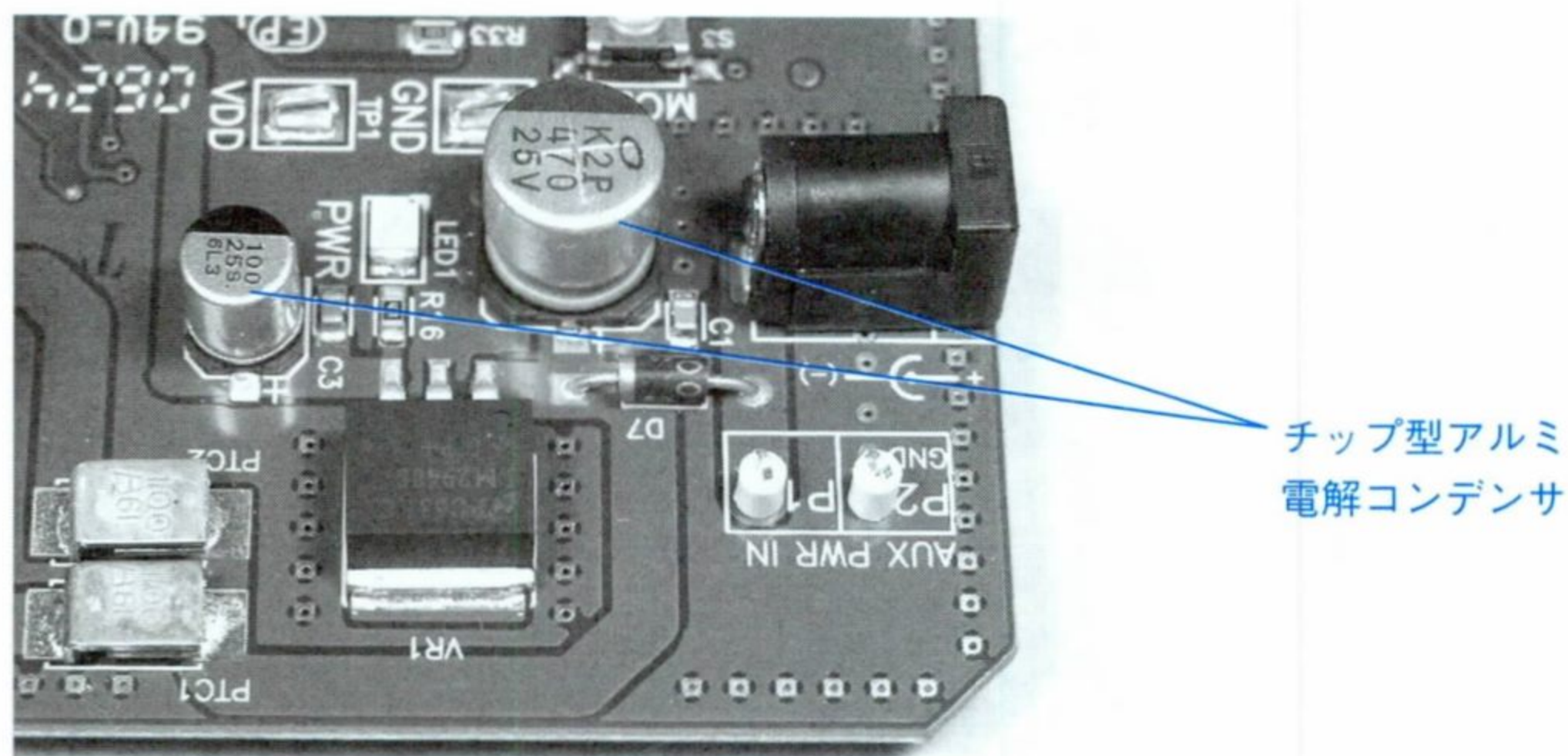
2-3-6 コンデンサの実装方法

セラミック、電解コンデンサのプリント基板への実装は図2.3.6のようにします。このとき以下のことに気をつけてください。

参考
電解コンデンサは基板に付くように取り付け、セラミックコンデンサは、無理に押し込まずに取り付けます。

注意
その他、右にあげた注意事項を守って実装するようにしてください。

① セラミックコンデンサのリード線の根元には塗装がしてあるので、あまりぎりぎりまで押し込むと、はんだ付け不良となり、接触不良となりやすい。
② 電解コンデンサなど極性のあるものの実装の向きに注意
③ セラミックコンデンサや電解コンデンサのリード線の間隔と穴位置が合わないと、無理なストレスがかかり破損したり、容量の変化を起こすことがある。
④ 定格電圧を超えないように使う電圧を確認すること。

◆図2.3.6 コンデンサの実装方法

参考
写真のコンデンサはチップ型アルミ電解コンデンサです（極性があるので、実装時は向きに注意すること）。

◆写真2.3.3 表面実装の電解コンデンサの実装例

2-3-7 バリアブルコンデンサ（バリコン）

バリコンは、その名前の通り容量を可変できるようになっているコンデンサです。バリコンはその使い道から大きく2種類に分かれます。

用語解説

・**ポリバリコン**
ラジオの同調用に使われている部品。

参考

ダイヤルが別売りの場合もありますので、確認してから購入するとよいでしょう。

① バリコン

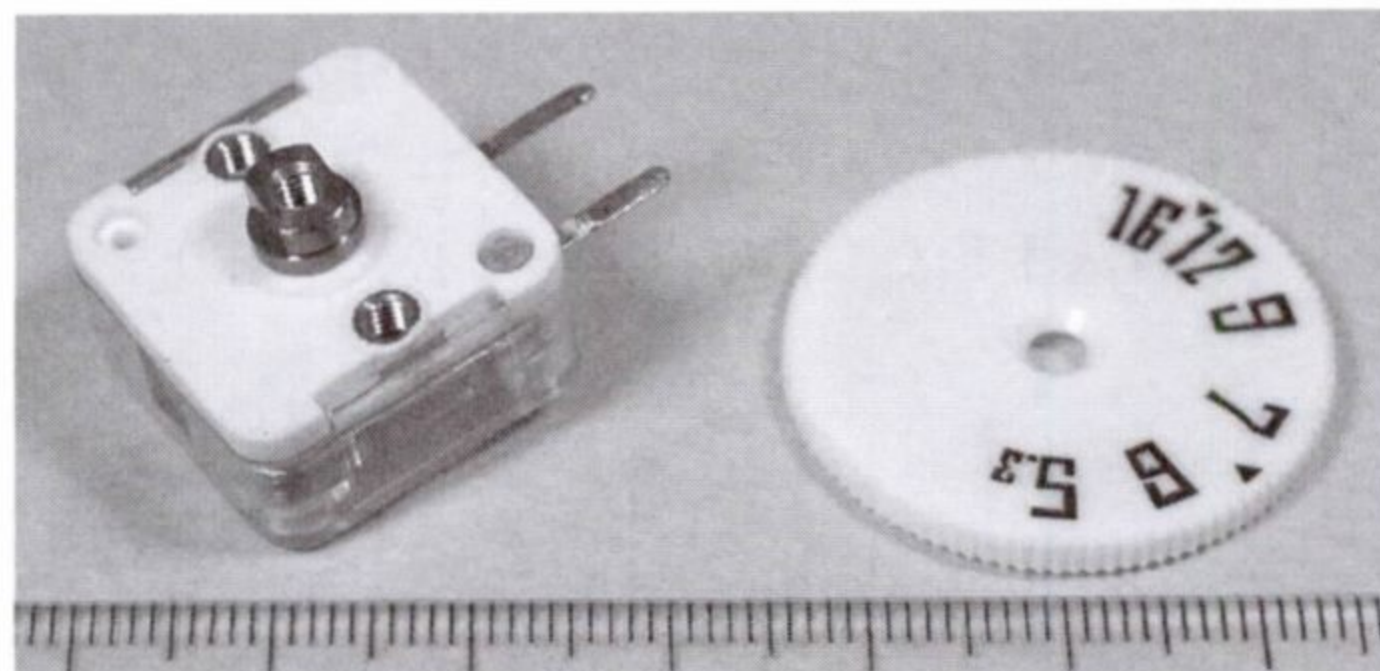
シャフトがあり、外からつまみで可変できるようになっているもの。主にラジオなどの同調用に使われています。最近では電子同調となってダイオードを使った同調回路に変わったため、バリコンはほとんど使われなくなりました。

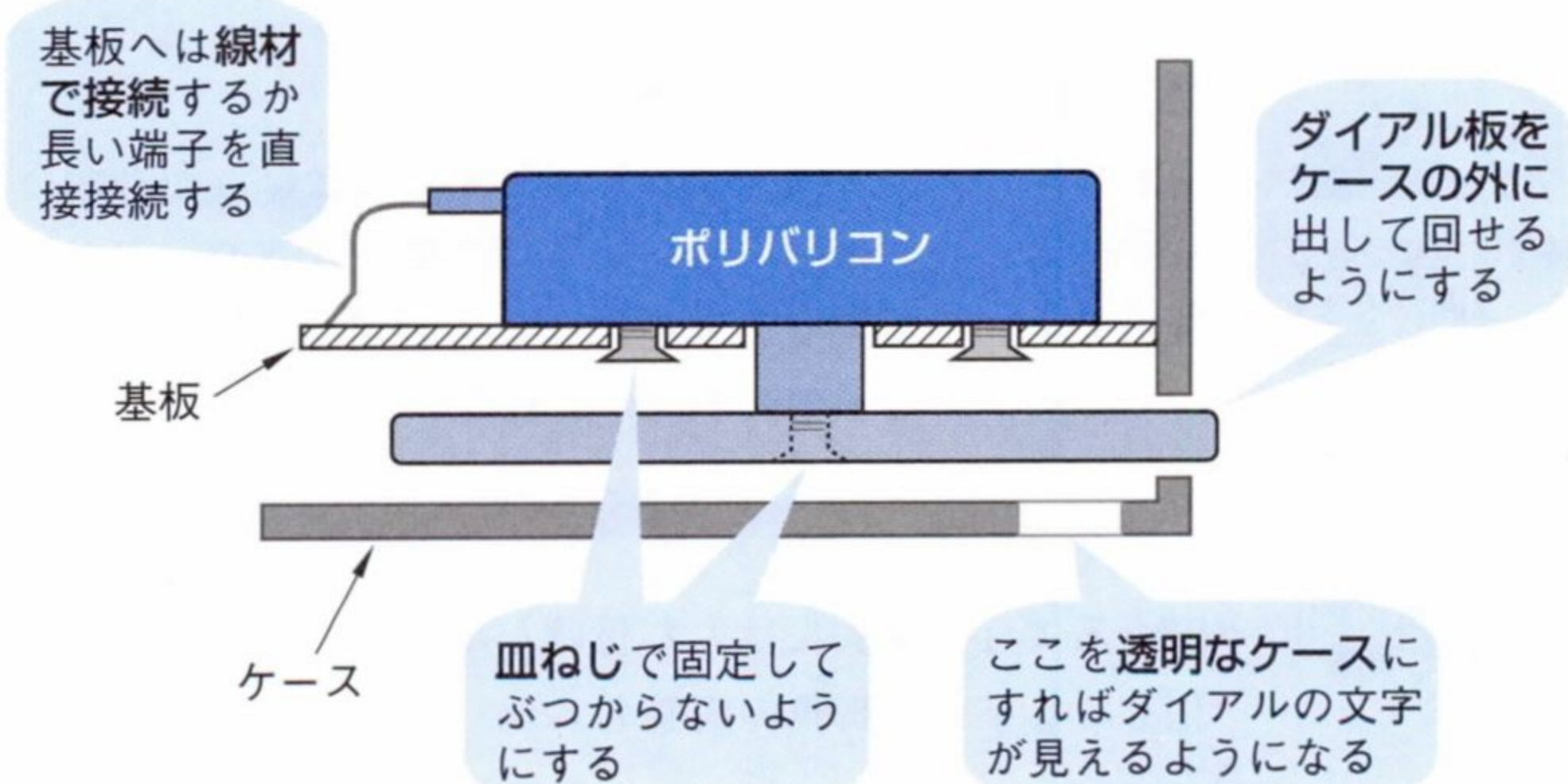
② トリマコンデンサ

シャフトがなく、ドライバ等で回すタイプで、周波数などの微調整用に使われます。

■ポリバリコン

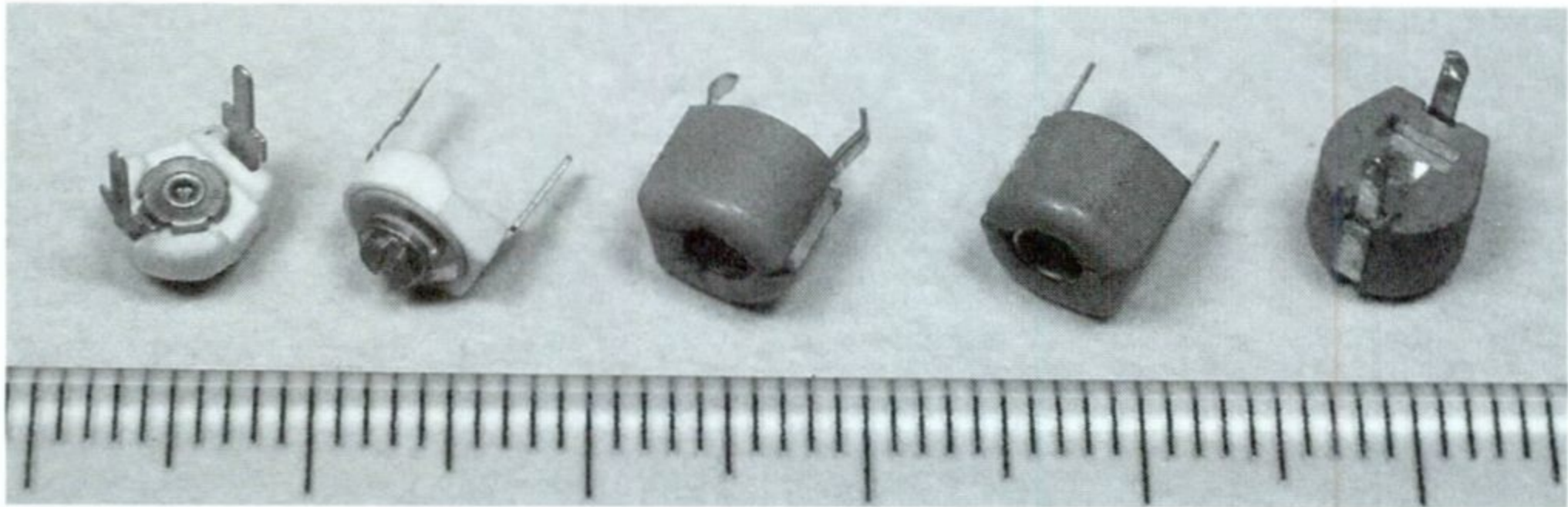
2種類の金属羽の間にフィルムが挟まっているタイプで、**ポリバリコン**と呼ばれています。フィルムが高誘電率であるため、小型で高容量のバリコンができます。昔は携帯型ラジオの同調用に使われていました。数10pFから数100pFのものがあります。

写真2.3.4はポリバリコンの代表的な例で、AMラジオ用のポリバリコンで同調用のつまみ（ダイヤル）も一緒についています。

◆写真2.3.4　ポリバリコンの例

ポリバリコンは図2.3.7のように取り付けます。皿ねじを使ってねじの頭が邪魔にならないようにします。また、ダイアルをケースの外にちょっと出して回せるようにすることと、周波数の文字が見えるようにすることがポイントですが、結構難しい細工になります。

◆図2.3.7　ポリバリコンの実装方法

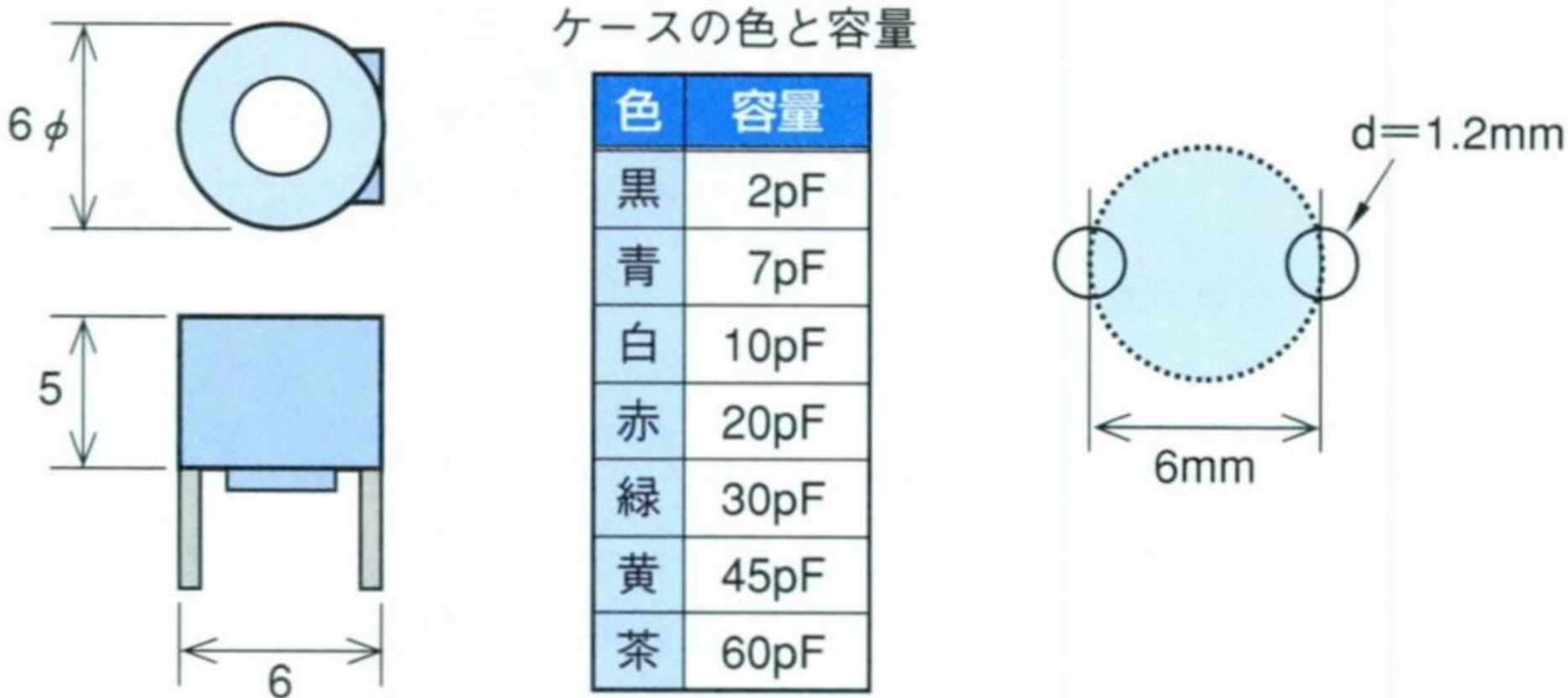
■トリマコンデンサ

周波数の微調整などのために使われる半固定の可変容量コンデンサで、プリント基板への直付け型の形をしています。

写真2.3.5は代表的な**トリマコンデンサ**の例で、容量値が調整ねじの頭の塗装色やケースの色で区別されています。この色と容量値の関係は、メーカによって異なっている場合もありますが、図2.3.8となっています。

◆写真2.3.5　トリマコンデンサの例（右3つは村田製作所製）

これらのトリマコンデンサの寸法と取り付け寸法はメーカによって形も大きさもまちまちであり標準化はされていません。図2.3.8は実際の例ですが、使う場合には入手したもので確認する必要があります。

ケースの色と容量

色	容量
黒	2pF
青	7pF
白	10pF
赤	20pF
緑	30pF
黄	45pF
茶	60pF

◆図2.3.8　トリマコンデンサの寸法と実装（村田製作所TZ03シリーズ）

■実装する際に注意すること

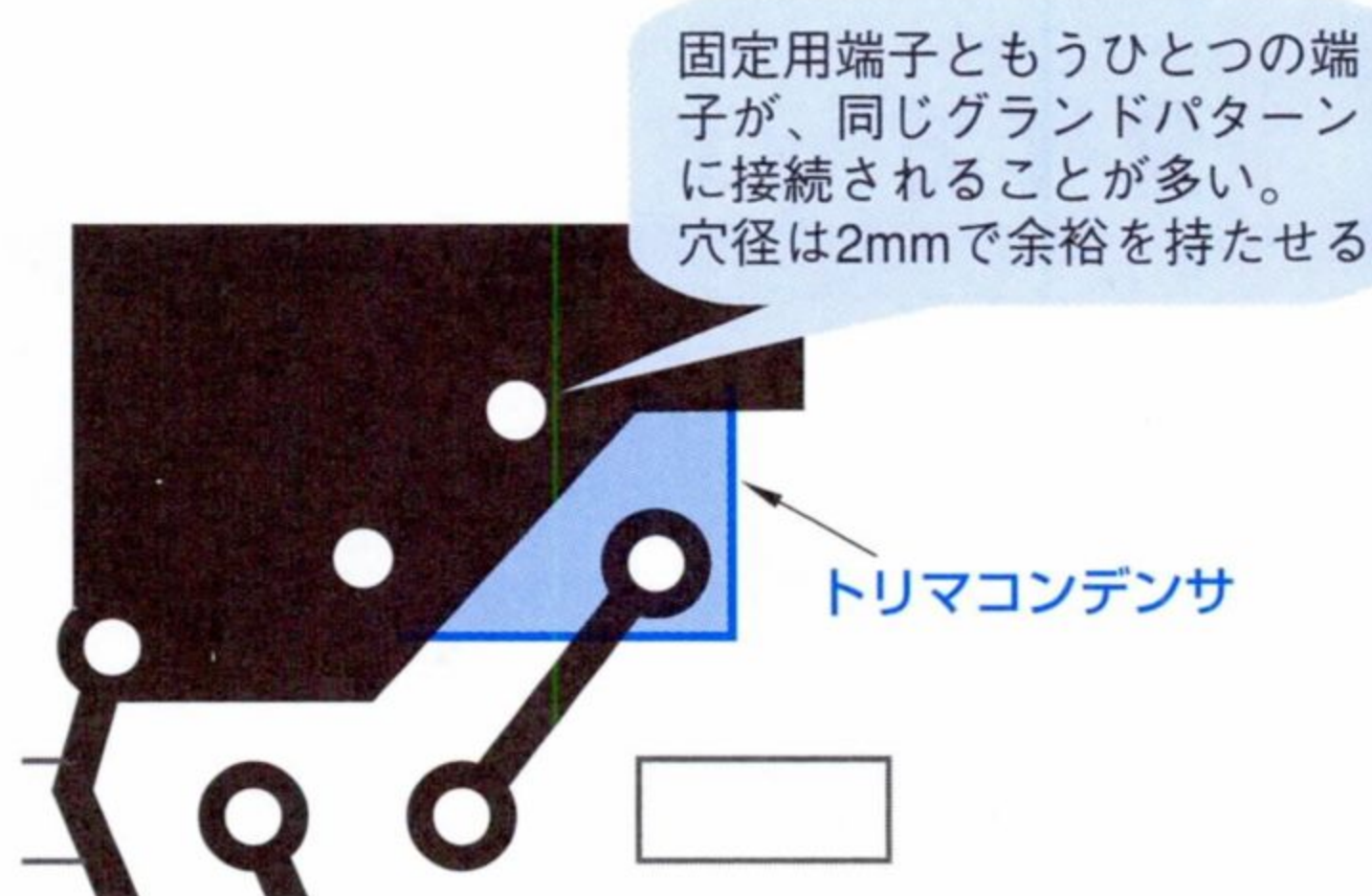
ポイント

実装後に調整できるように、上面のスペースを覆わないようにすること。

3本足型の固定用の足は、グランドパターンにしっかりと固定する（振動で容量が変化しないようにするため）。

トリマコンデンサの実装で注意することは、あとから調整できるように上面のスペースを覆わないようにすることです。また、トリマコンデンサは本来2個の端子でよいのですが、大型になると固定用の足が付いた3本足のものもありますので、固定用端子の穴をあけ忘れないように注意してください。

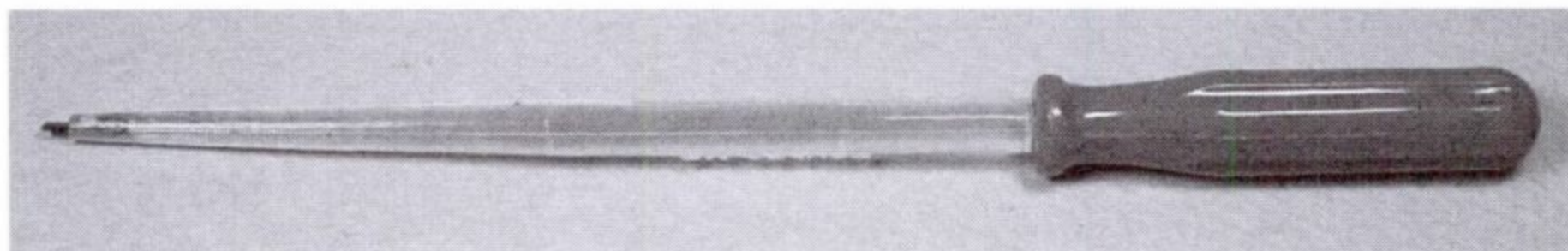
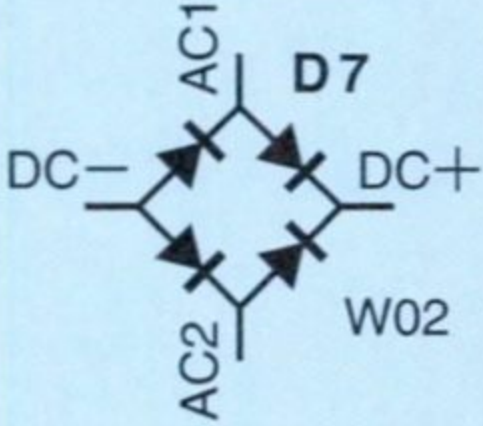
トリマコンデンサをプリント基板に取り付けるときは、3本足型の固定用の足は、図2.3.9のようにグランドパターンに接続しておきます。そしてしっかりと固定するように丈夫にはんだ付けしておきます。そうしないと振動などで容量が変化してしまい、折角の調整もズレてしまうことになります。

固定用端子ともうひとつの端子が、同じグランドパターンに接続されることが多い。
穴径は2mmで余裕を持たせる

トリマコンデンサ

◆図2.3.9　トリマコンデンサの実装

常識

トリマコンデンサを調整するときは、金属を使っていない調整用ドライバを使用すること。

トリマを調整でまわすときには、一般の金属製ドライバでまわすと、ドライバの金属で容量が変わってしまうため、調整が難しくなってしまいます。トリマコンデンサを調整するときには金属を使っていない写真2.3.6のような「**調整用ドライバ**」で行います。写真のように、先端だけが金属かセラミックで、他は樹脂でできています。

◆写真2.3.6　調整用ドライバ

2-4 ダイオード

ダイオードは半導体の最も基本的な部品で、昔はゲルマニウムラジオとしてダイオードだけでラジオを作ったこともあります。基本機能は、1方向だけにしか電流を流さない半導体素子のことを言いますが、現在では応用製品が数多くあり、単なる電流を扱うだけではなくなっています。

2-4-1 回路図記号

ダイオードは非常に多くの種類があり、回路図での表現方法も多くの種類があります。よく使われる種類のダイオードと回路図記号は、表2.4.1が使われています。

◆表2.4.1 ダイオードの種類と回路図記号

回路図記号	略号	名称	機能・特徴
D20 1S953	D	汎用ダイオード PINダイオード	整流、スイッチング、検波用 小型で周波数特性がよい
D6 RD5A	ZD	ツェナーダイオード	定電圧作成用ダイオード 一定の電圧降下特性を示す
D4 1SS99	SD	ショットキー ダイオード	高周波スイッチング用 降下電圧が低い特性も利用されている
D5 1SV101	VD	バリキャップ	可変容量ダイオード 電子同調用に使う 数pFから数100pFまで範囲が広い
AC1 D7 DC− DC+ AC2 W02	DB	ダイオードブリッジ	電源整流用で4個の整流ダイオードが1個の中に実装されてモジュール化されたもの。耐電圧、電流容量によって多くの種類がある

2-4-2 ダイオードの基本特性

ダイオードの端子間に電圧を加えると図2.4.1のように電流が流れます。この図からダイオードの基本的な特性、つまり片方向しか電流を流さず、かつ電流は電圧に比例するという特性は図のAの範囲に限られることになります。しかしこの範囲を超えたところでのダイオードの特性が別目的に使われています。

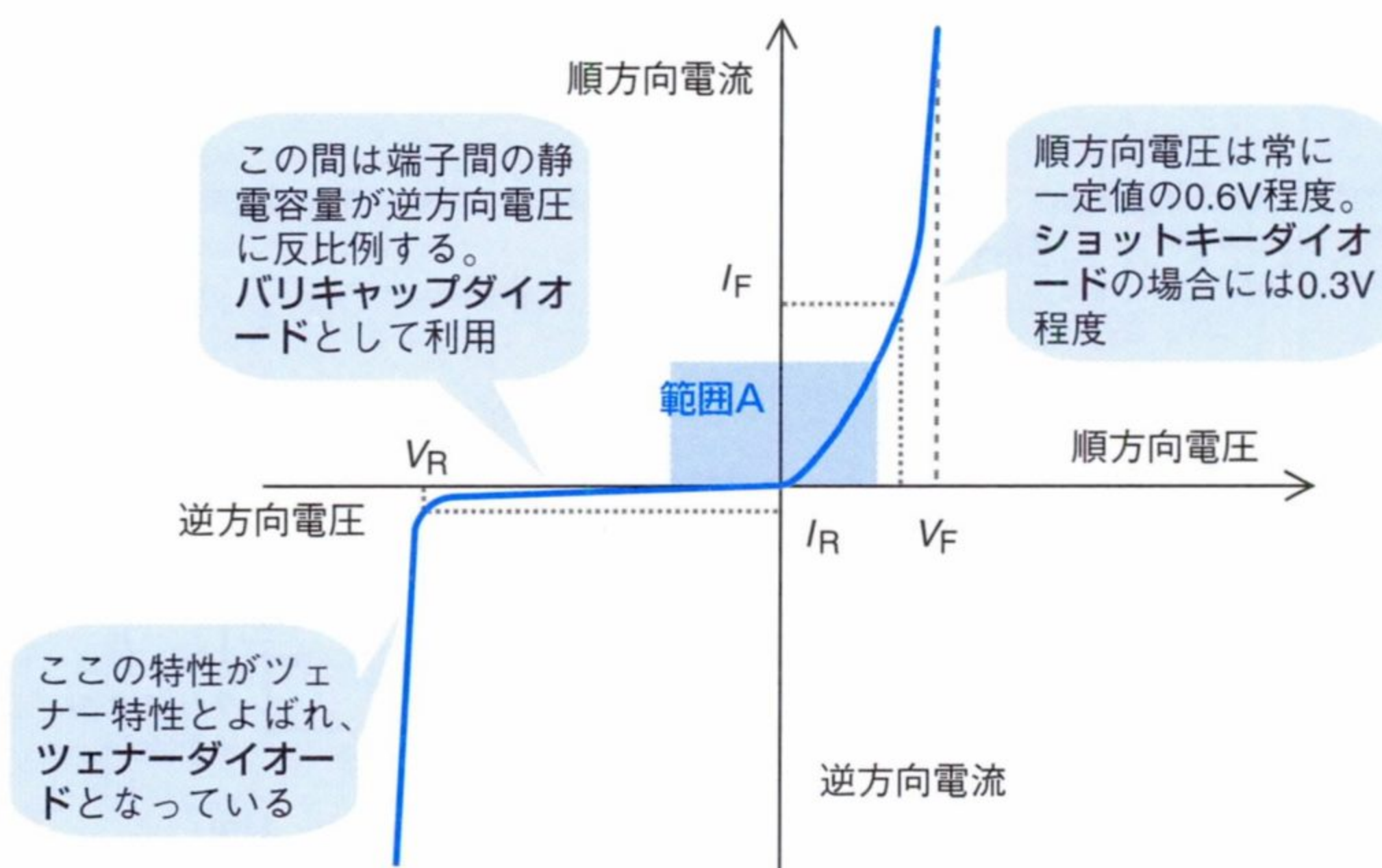
まず逆方向電圧がある電圧以上になると、逆方向電流にかかわらず常にほぼ一

用語解説

・ツェナーダイオード
逆方向電圧がある電圧以上になると、逆方向電流が増加しても、電圧は常にほぼ一定電圧の状態になる（電流がそれ以上増えてもほとんど変化しない状態になる）。この逆方向電圧（ツェナー電圧）を利用したもの。

・バリキャップダイオード
逆方向電圧により電流はほとんど流れないが、端子間の静電容量が反比例して変化することを利用したもの。

定電圧となり、電流がそれ以上増えてもほとんど変化しない状態になります。この逆方向電圧を**ツェナー電圧**と呼び、**ツェナーダイオード**として使われています。

また、順方向電圧はある程度電流（0.1mA以上）が流れてAの範囲を超えると、ほぼ一定の0.6V程度になります。これが整流ダイオードなどでの順方向電圧降下で熱を発生させる要因になります。これ以外に逆方向電圧により電流はほとんど流れないのですが、端子間の静電容量が反比例して変化することを利用したものが、**バリキャップダイオード**です。

◆図2.4.1 ダイオードの基本特性

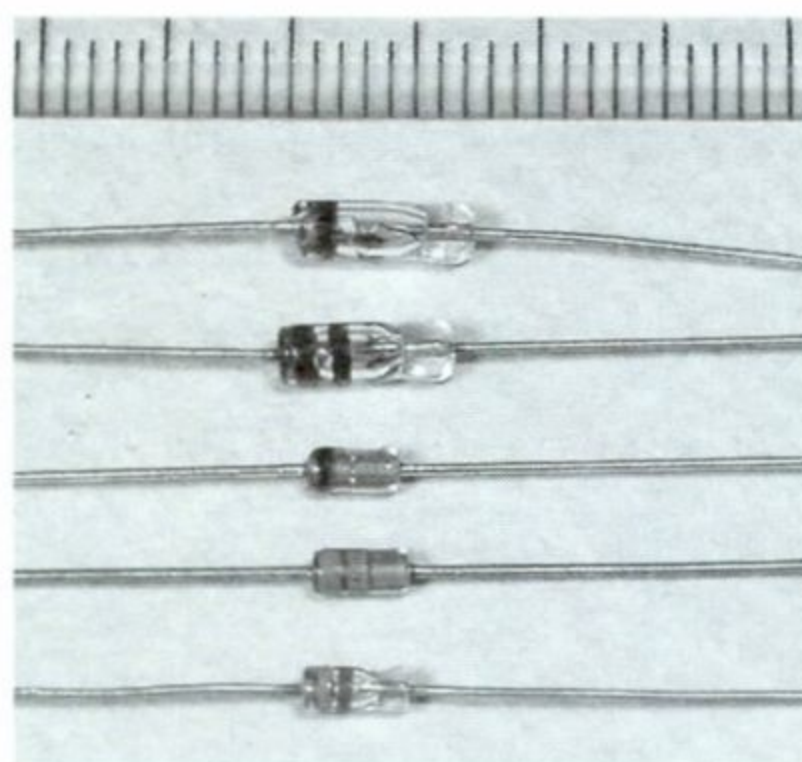
2-4-3 小信号用ダイオード

比較的小さな（300mA以下）の電流を扱うダイオードをまとめて説明します。

(1) 汎用スイッチングダイオード

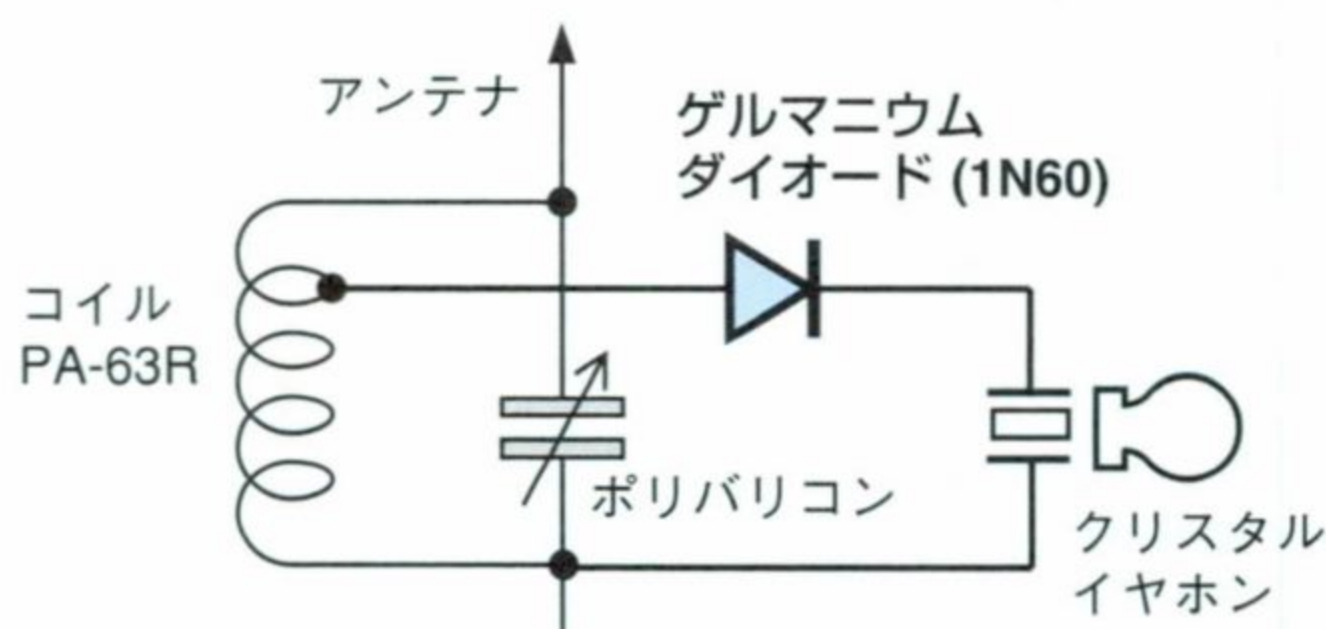
最も基本となるダイオードで、用途としては、検波、入力保護、スイッチング、混合、クリッパ、リミッタなどの多くの用途があります。順方向の電圧降下は0.6V程度となります。

(2) ショットキーバリヤダイオード

汎用のpn接合によるダイオードとは、原理的に全く異なるもので、半導体と金属の接合によって作られています。スイッチング速度が非常に高速なため、高速スイッチングや、マイクロ波帯のミキサなどに使われています。順方向の電圧降下は0.3V程度と低いのが特徴で、これを利用して広帯域検波や、大電流用のものはスイッチングレギュレータなどに使われます。

ゲルマニウムダイオード
ゲルマニウムダイオード
スイッチングダイオード
スイッチングダイオード
ショットキーバリヤダイオード

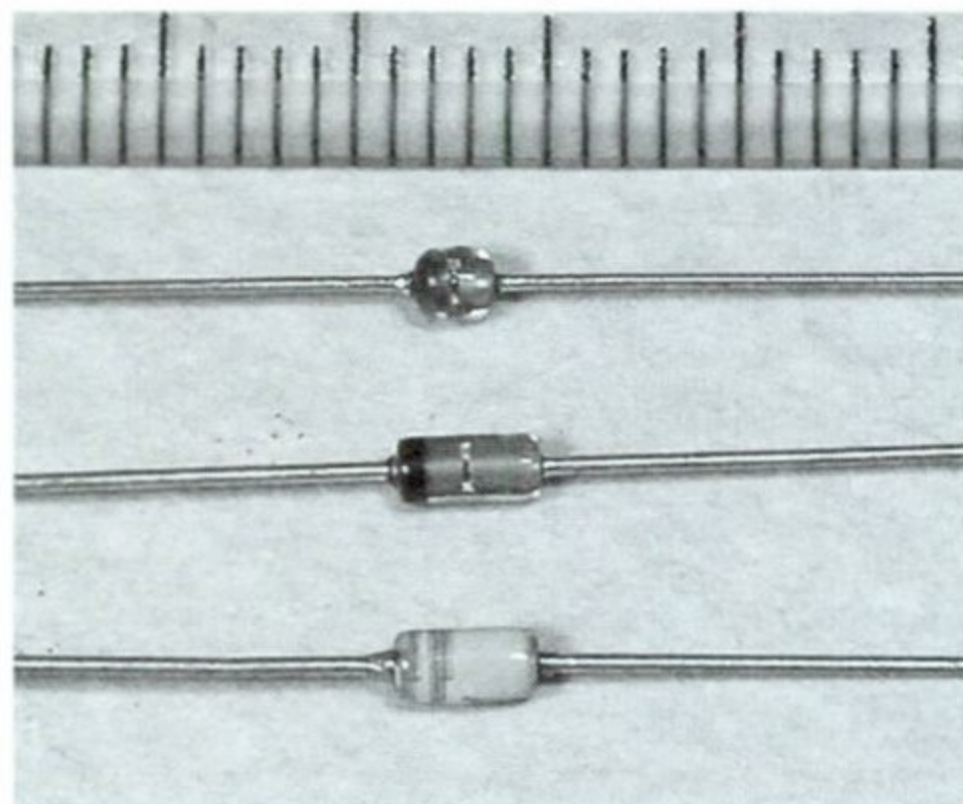
◆写真 2.4.1 小信号用ダイオードの外観

COLUMN ダイオード

アンテナ
ゲルマニウムダイオード (1N60)
コイル PA-63R
ポリバリコン
クリスタルイヤホン

ゲルマニウムダイオードを検波用に利用し、
簡単で電源の要らないラジオが製作できます。

(3) ツェナーダイオード（定電圧ダイオード）

普通のダイオードは逆方向には電流を流さないのですが、ツェナーダイオードはある一定の電圧以上になると、急激に電流が流れるようになります。電圧が非常に安定していることから電源回路の基準電圧用やDCバイアス作成用として使われています。

またツェナー電圧の温度安定度が特によくなるように工夫したものが、**電圧標準ダイオード**です。

【各種のツェナーダイオード】
電力容量とツェナー電圧により
数多くの種類がある

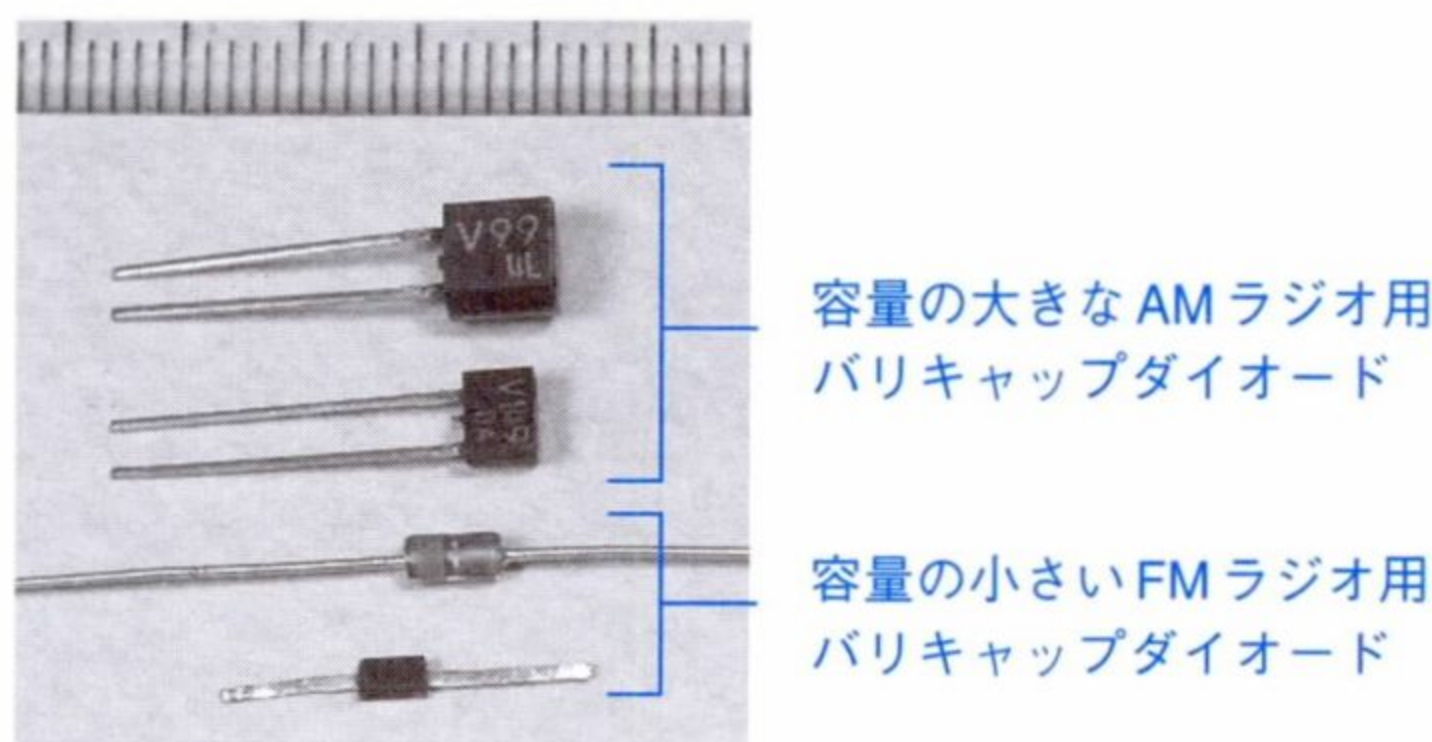
【電圧標準ダイオード】
特に電圧安定度の高い
ツェナーダイオード

◆写真 2.4.2 ツェナーダイオードの外観

(4) 可変容量ダイオード（バリキャップダイオード）

pn接合に逆方向の電圧を加えると、端子間の容量が逆電圧の大きさによって変化するダイオードです。ラジオなどの電子同調用VCO（Voltage Controlled Oscillator）として多用されています。可変容量は数pF～数十pFのものと数十pF～数百pFの2種類に大別され、それぞれFMラジオ用とAMラジオ用として使われます。

容量の大きなAMラジオ用
バリキャップダイオード

容量の小さいFMラジオ用
バリキャップダイオード

◆写真2.4.3　各種バリキャップダイオードの外観

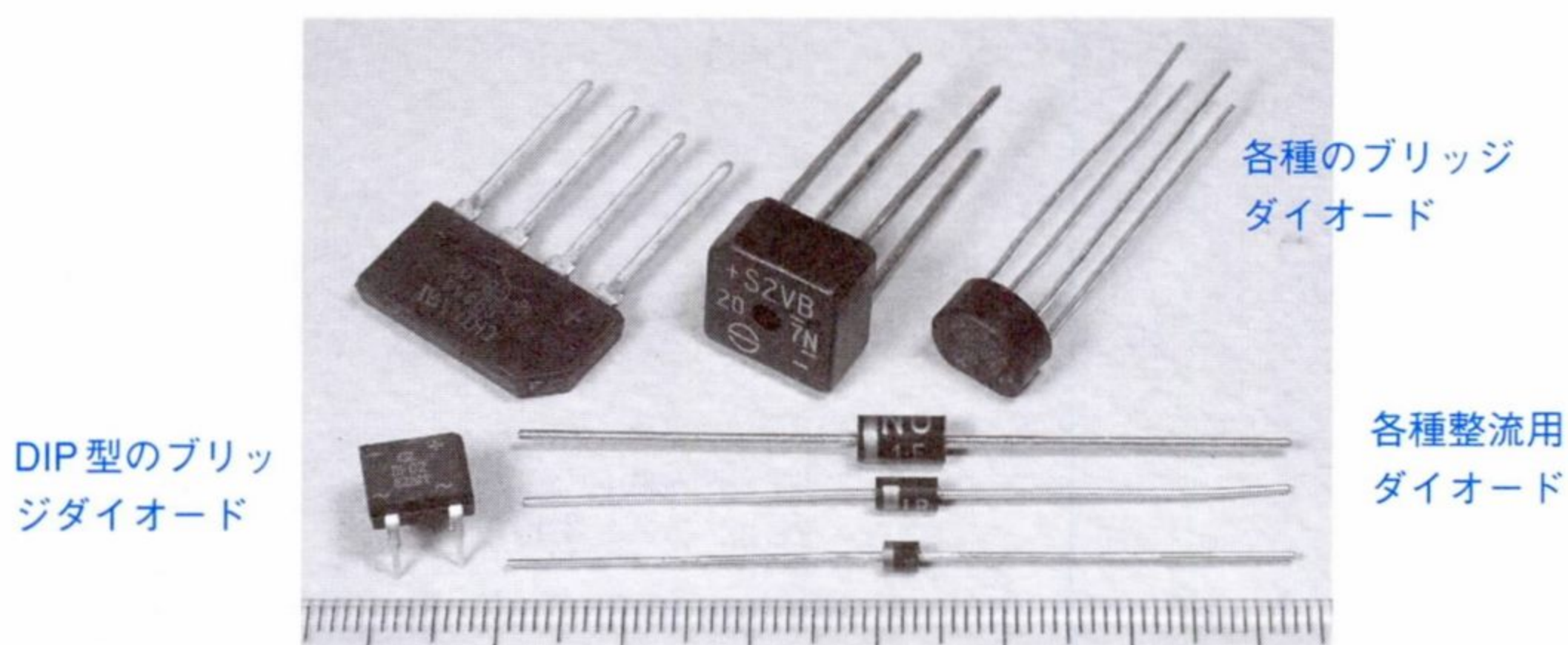
2-4-4　電源整流用ダイオード

用語解説
・整流作用
一定の方向にのみ電流を流す性質。

一定の方向にしか電流を流さないことを利用して、交流を直流に変換するのに使われます（これを**整流作用**という）。流せる許容電流の大きさにより接合部の大きさが大きくなるため、大電流用ほど大型となります。整流できる電圧範囲は数百Vから数千Vまであり、電流も数Aから数十Aまでと非常に広い範囲に対応しています。

また、ブリッジ方式の整流用に4個のダイオードをブリッジ接続して一体化した**ブリッジダイオード**も、整流効率がよいため電源の整流用として頻繁に使われます。ダイオードは大電流では発熱するため、放熱器を取りつけて使います。

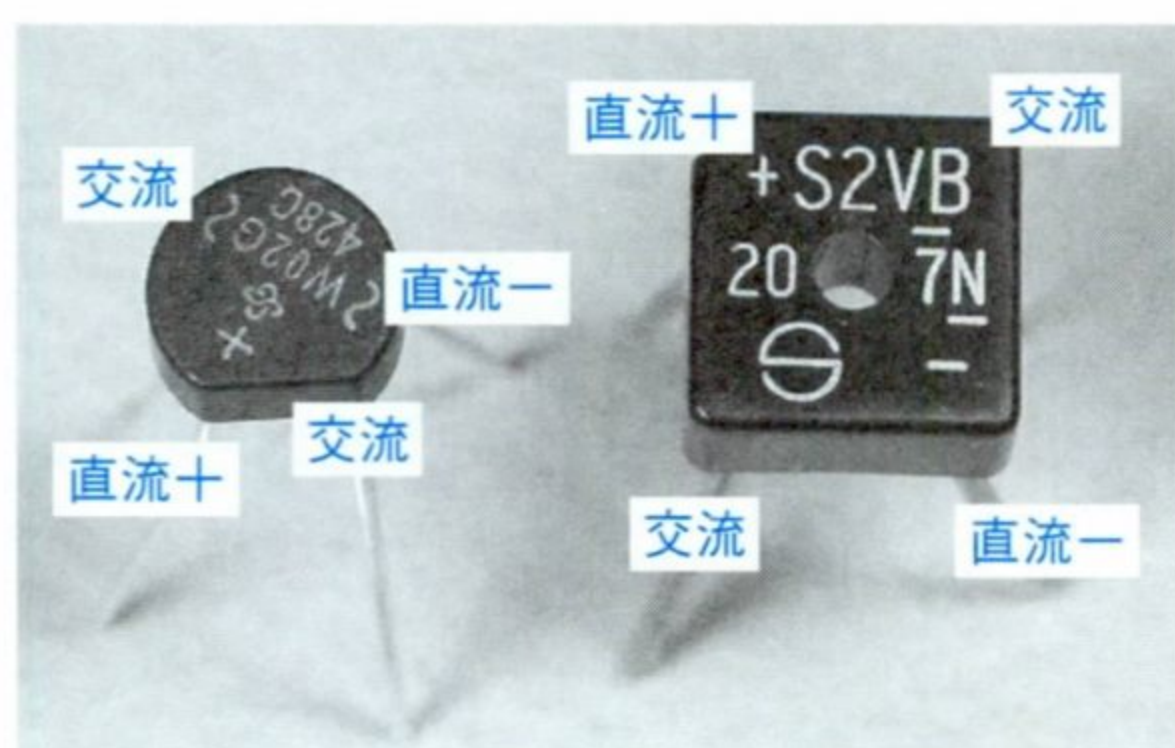
各種のブリッジ
ダイオード

DIP型のブリッジダイオード

各種整流用
ダイオード

◆写真2.4.4　各種整流用ダイオードの外観

ブリッジダイオードは、両波整流用の4個のダイオードを組にして一体化したもので、図2.4.2のような接続構成となります。

交流
直流＋
交流
直流－
直流＋
交流
交流
直流－

交流入力
交流入力
直流出力 －側
直流出力 ＋側
交流入力に区別はない。どちらに接続してもよい。

◆図2.4.2　ブリッジダイオードの接続構成

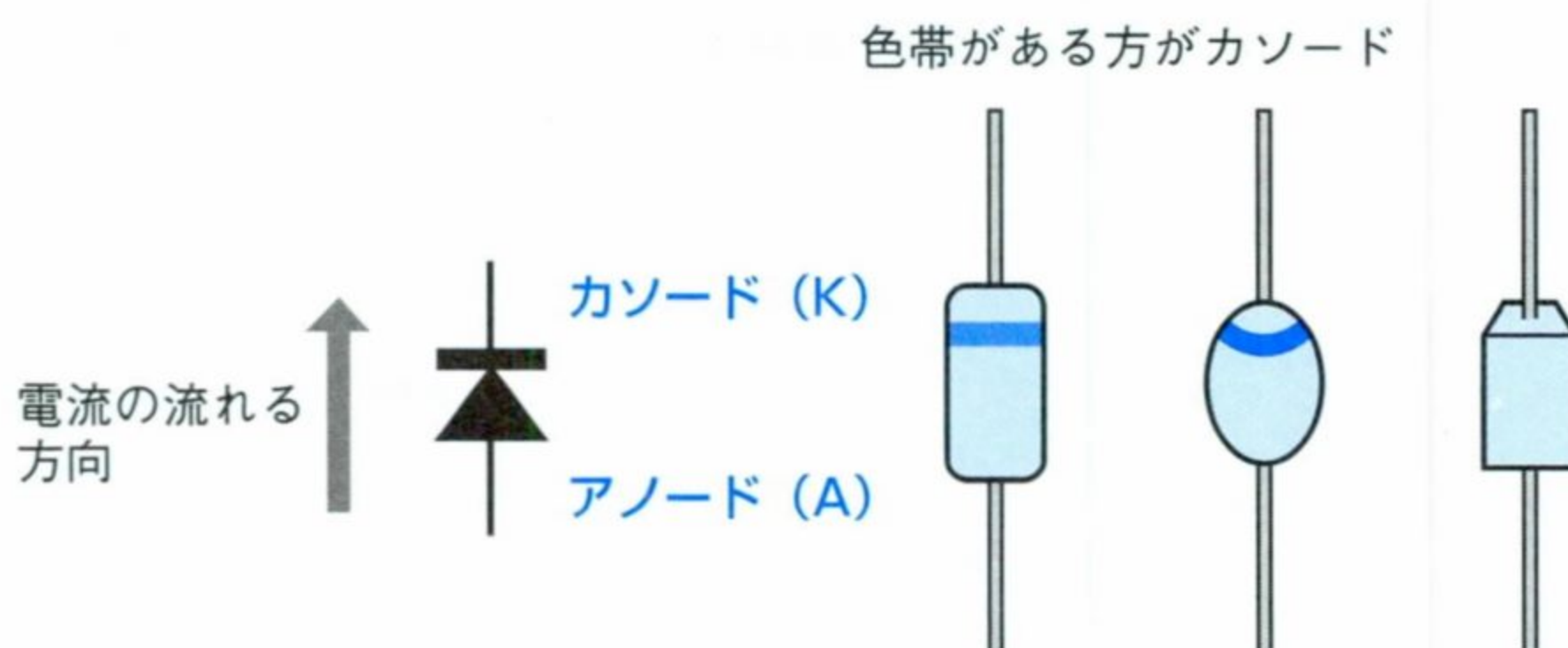
2-4-5 ダイオードの実装方法

ダイオードを基板などに実装する際には、ダイオードの特徴に従って次の点に留意します。

■ダイオードには極性がある

図2.4.3に示すようにダイオードには**アノード**と**カソード**と呼ぶ極性があり、電流の流せる向きがあるので気をつけます。またブリッジダイオードも接続方向が決まっています。

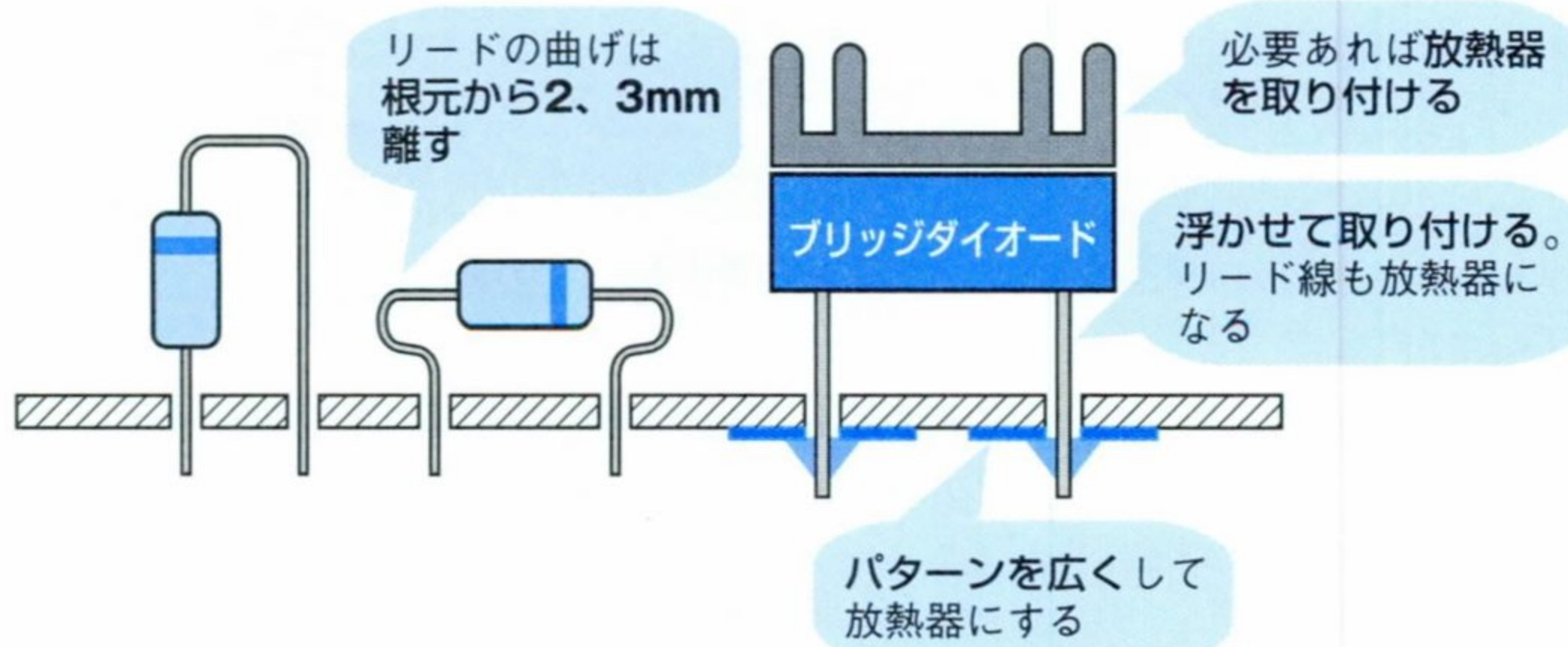
注意
ダイオードには極性がある。アノードが「＋側」、カソードが「－側」。

色帯がある方がカソード
カソード（K）
アノード（A）
電流の流れる方向

◆図2.4.3　ダイオードの極性

■小信号用ダイオードは比較的熱に弱い

基板に実装するときには、図2.4.4のように根元から数mm離れたところでリード線を曲げて実装し、はんだ付けは手早く行います。

参照
・放熱器 → p.145

リードの曲げは**根元から2、3mm**離す
必要あれば**放熱器を取り付ける**
ブリッジダイオード
浮かせて取り付ける。リード線も放熱器になる
パターンを広くして放熱器にする

◆図2.4.4　ダイオードの基板への実装

■配線のポイント

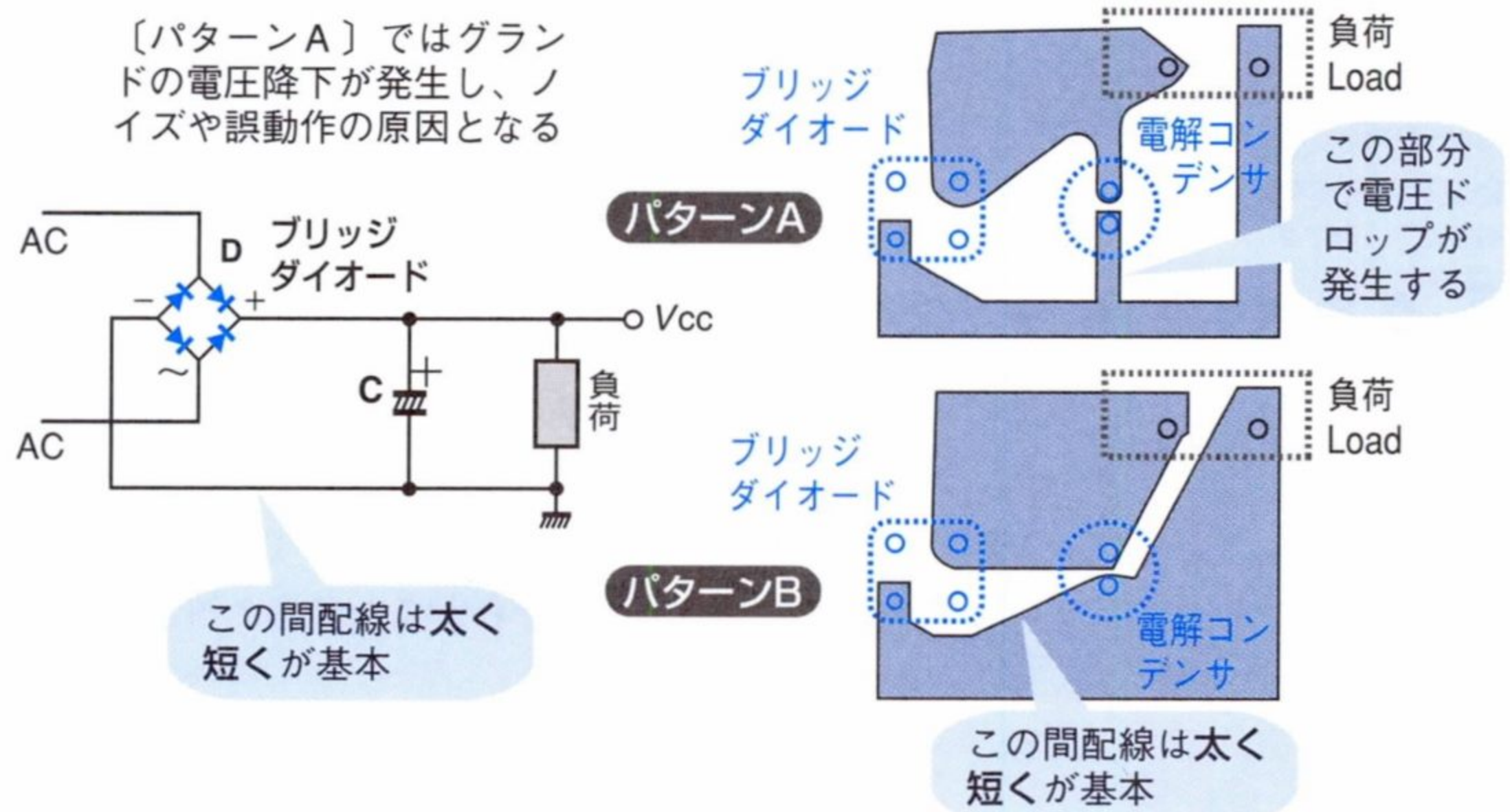
ポイント
配線は太く短く。

ブリッジダイオード周りの配線は、安定なグランドの確保のために重要で、図2.4.5に示すように、出力コンデンサと負荷の間の配線やパターンに注意が必要です。**基本は太く短いパターンで、ブリッジ→電解コンデンサ→負荷の順序どおりに配線すること**がポイントです。つまり電解コンデンサの端子が、回路の電源とグランドの基点になるようにします。

〔パターンA〕ではグランドの電圧降下が発生し、ノイズや誤動作の原因となる

AC
D ブリッジダイオード
C
Vcc
負荷
AC
この間配線は太く短くが基本

パターンA
ブリッジダイオード
電解コンデンサ
負荷 Load
この部分で電圧ドロップが発生する

パターンB
ブリッジダイオード
電解コンデンサ
負荷 Load
この間配線は太く短くが基本

◆図2.4.5 ブリッジダイオードへの配線

ダイオードに架ける橋
Bridge over...

2-5 トランジスタと電界効果トランジスタ(FET)

参考
・ウィリアム・B・ショックレー
アメリカの物理学者。ジョン・バーディーン(米)、ウォルター・ブラッテン（米）と共に接合型トランジスタを発明した（1947年）。

トランジスタは半導体の中でも最もよく使われてきた基本的な素子で、ショックレーが半導体の増幅作用を初めて発見したことに始まります。トランジスタには用途や特性により数え切れないほどの種類があります。しかし、私たちが電子工作で使うものは限られており、それぞれの特徴を活かした使い方をします(FET：Field Effect Transistor)。

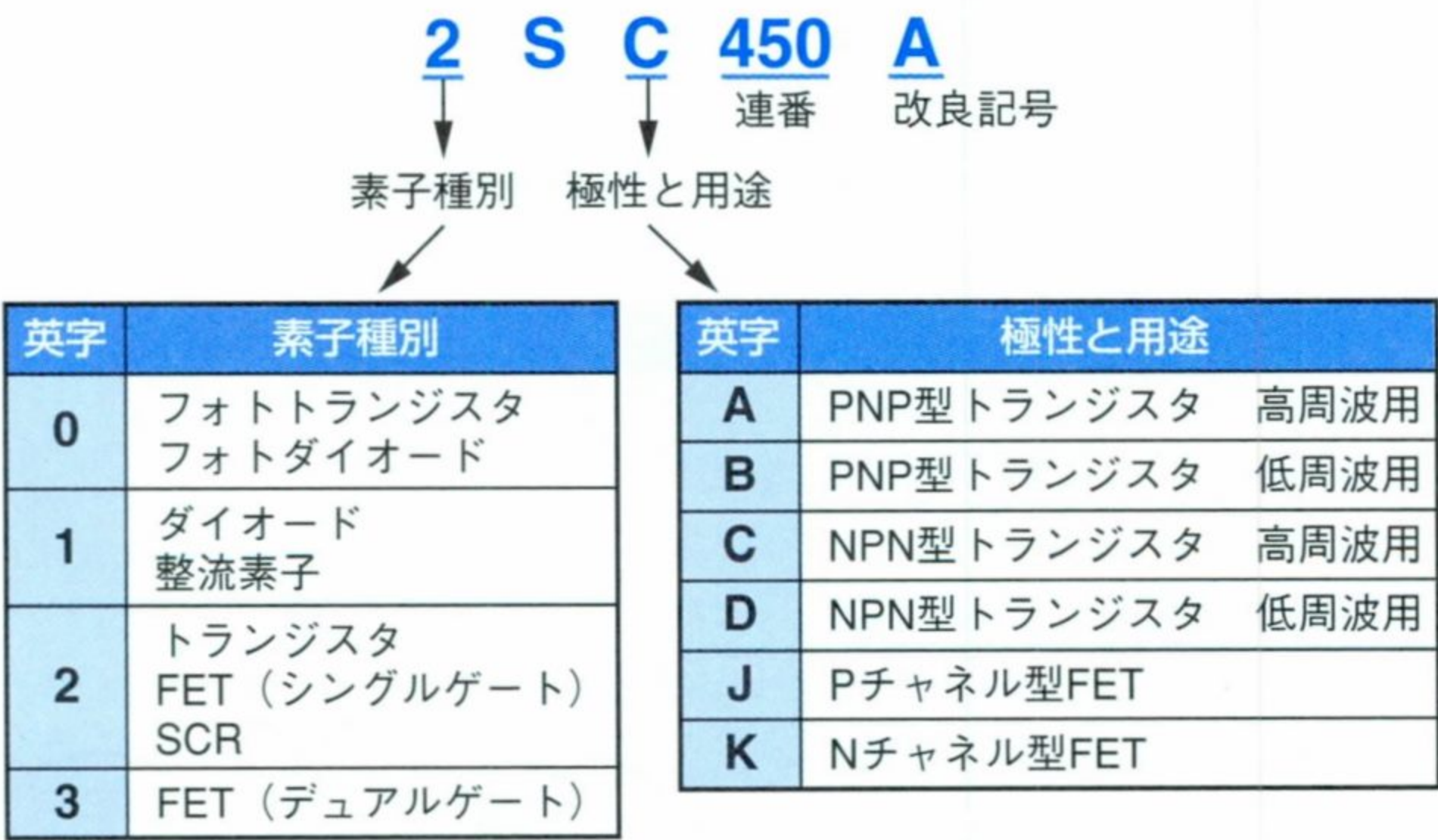
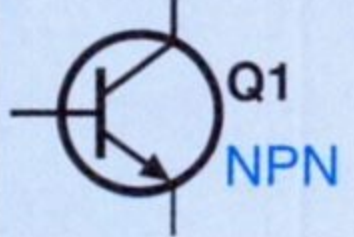
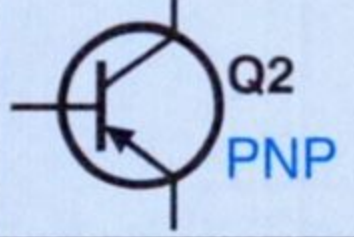
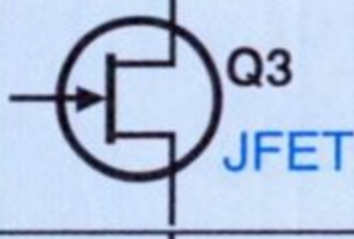
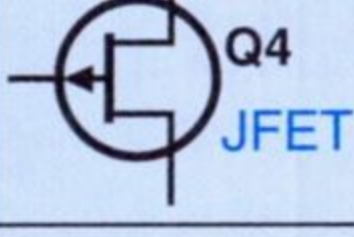
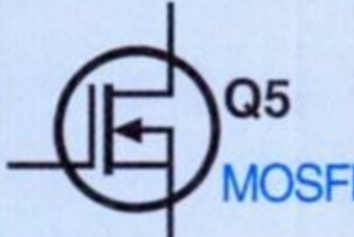
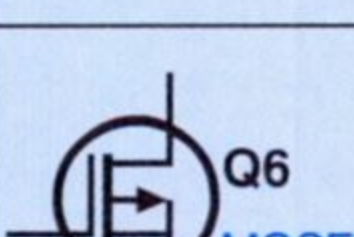
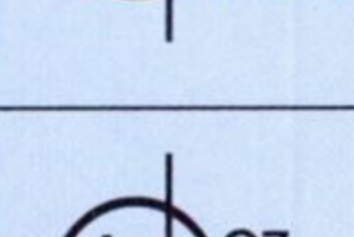
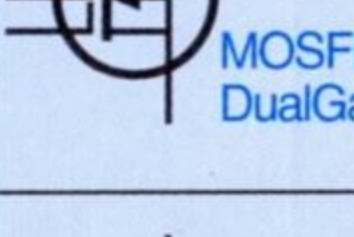
2-5-1 トランジスタの種類

多くの種類がありますが、基本的な分類は名称の区分でなされています。つまりトランジスタを含む半導体の名称は、図2.5.1のフォーマットで区別されています。これによればトランジスタは大別して、まずトランジスタとFET（電界効果トランジスタ）に分かれ、それぞれがまたP型とN型に分かれています。

2 S C 450 A

2 → 素子種別、C → 極性と用途、450 → 連番、A → 改良記号

英字	素子種別
0	フォトトランジスタ フォトダイオード
1	ダイオード 整流素子
2	トランジスタ FET（シングルゲート） SCR
3	FET（デュアルゲート）

英字	極性と用途
A	PNP型トランジスタ　高周波用
B	PNP型トランジスタ　低周波用
C	NPN型トランジスタ　高周波用
D	NPN型トランジスタ　低周波用
J	Pチャネル型FET
K	Nチャネル型FET

◆図2.5.1　トランジスタの名称と種別

参考
・トランジスタ
入力の「電流」で出力の電流を制御する。
・電界効果トランジスタ
入力の「電圧」で出力の電流を制御する。

これをもう少し詳しく説明すると、**トランジスタ**は現在では全て接合型のトランジスタで、「電流を増幅」する働きがあります。つまり入力の「電流」で出力の電流を制御します。そして構造的な極性からNPN型とPNP型に分かれます。このPとかNというのは半導体の種別のことで、NPNとかPNPとかは、PN接合の順序を表しています。

これに対して**電界効果トランジスタ（FET）**は、昔の真空管に似た原理で作られたトラジスタで、入力の「電圧」で出力の「電流」を制御する特性を持っているトランジスタです。構造的な差異から接合型とMOS型に分かれ、それぞれがまた極性でPチャネル型とNチャネル型に分かれています。これらを回路図記号で分類すると、表2.5.1となります。

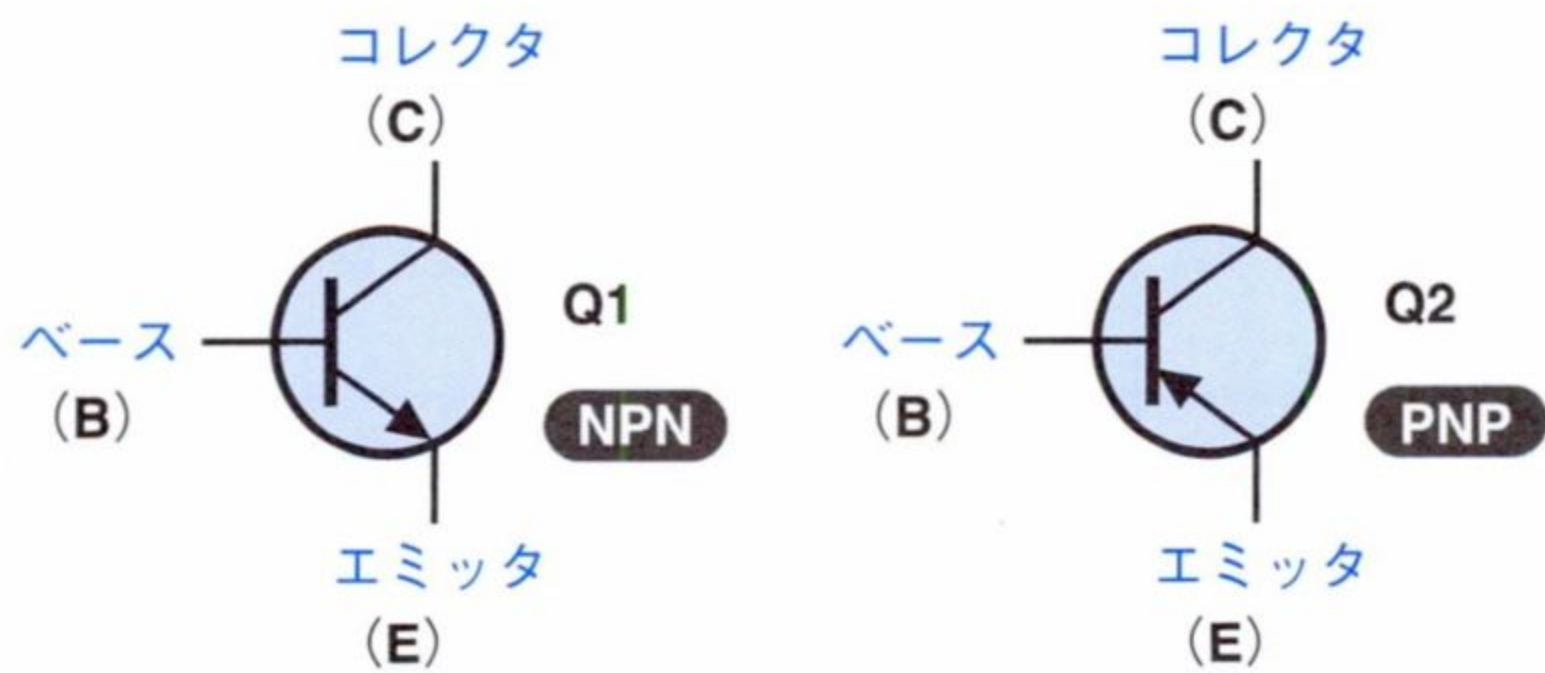
◆表2.5.1　トランジスタの分類と回路図記号

回路図記号	名称	特徴	用途
Q1 NPN	NPN型 トランジスタ 2SC3732	低周波から高周波まで特性がよい	汎用だが特に高周波用大電力用にも使う
Q2 PNP	PNP型 トランジスタ 2SA1459	NPN型に比べあまり周波数特性はよくない	相補型回路用にNPN型とペアで使う
Q3 JFET N	接合型FET Nチャネル 2SK439	入力ゲートが半導体の接合で構成されているFET トランジスタと異なり入力電圧で制御する	高入力インピーダンスのアンプ用
Q4 JFET P	接合型FET Pチャネル 2SJxxx		相補型回路用にNチャネル型とペアで使う
Q5 MOSFET N	MOS型FET Nチャネル シングルゲート 2SK2231	入力ゲートが酸化シリコン薄膜で絶縁されている構成のFETで、非常に高い入力インピーダンス（電流が流れない）が特徴 またON抵抗を非常に小さくできる特徴もある	特に高入力インピーダンスのアンプ用 ON抵抗が小さいことを利用して大電流制御用に使う
Q6 MOSFET P	MOS型FET Pチャネル シングルゲート 2SJ377		相補型回路用にNチャネル型とペアで使う
Q7 MOSFET N DualGates	MOS型FET Nチャネル デュアルゲート 3SK59	入力ゲートが酸化シリコン薄膜で絶縁されている構成のFETで、非常に高い入力インピーダンスが特徴で，全く同じ特性のゲートを2個備える	デュアルゲートの特徴を活かして、高周波のミキサーやゲインコントロールアンプとして使われる
Q8 MOSFET P DualGates	MOS型FET Pチャネル デュアルゲート 3SJxxx		

2-5-2　トランジスタの基本

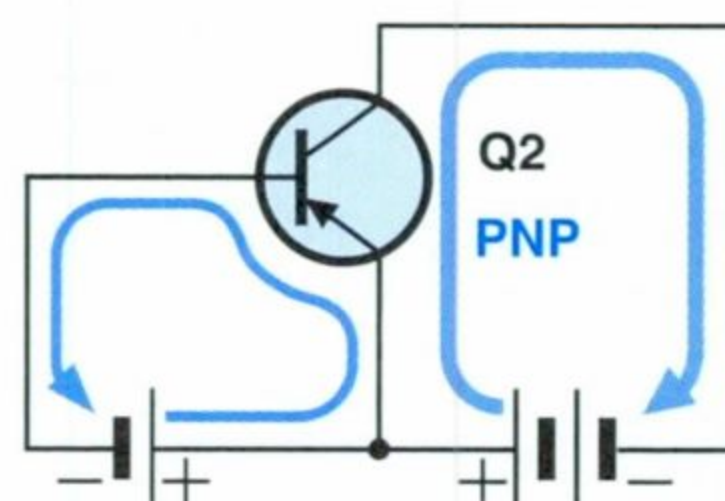
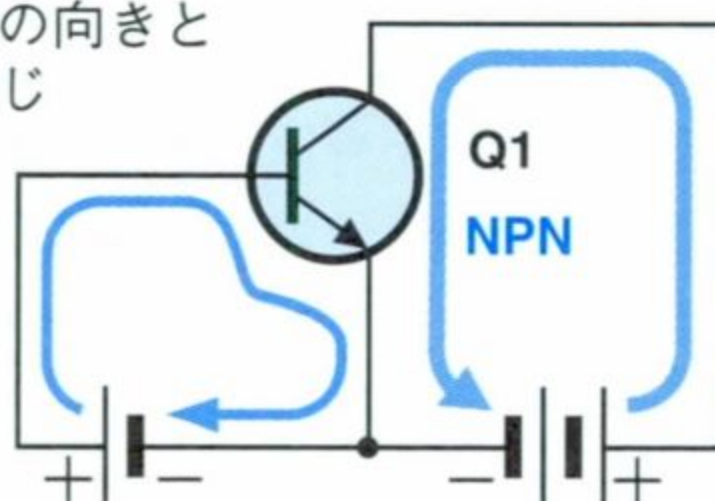
トランジスタの記号と端子名称は図2.5.2のようになっています。PNP、NPNとも同じ呼称となっています。

コレクタ（C）　ベース（B）　エミッタ（E）　Q1 NPN

コレクタ（C）　ベース（B）　エミッタ（E）　Q2 PNP

◆図2.5.2　トランジスタの端子名称

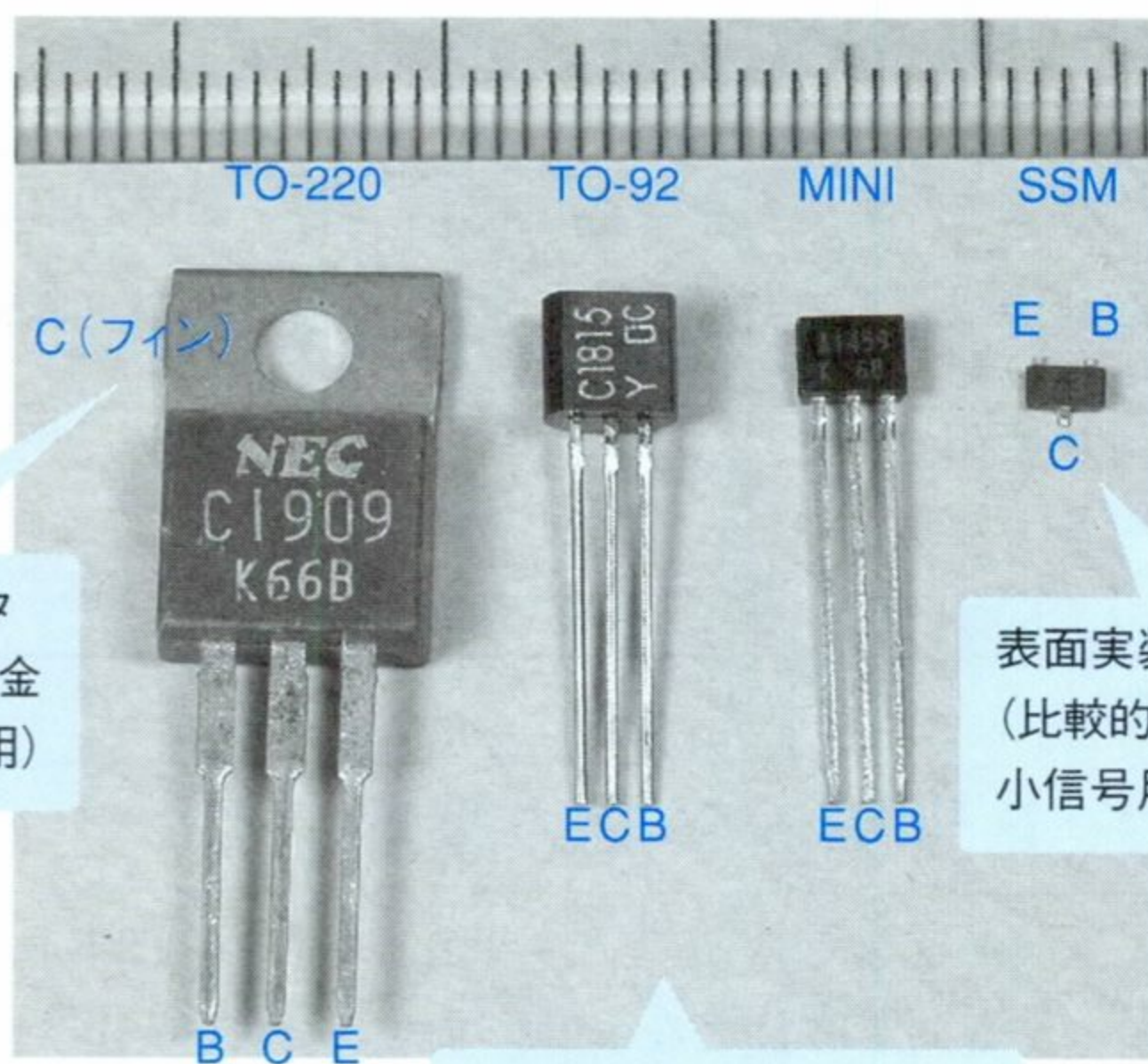
ポイント

NPN型：プラス電圧の範囲で使うのに適している。
PNP型：マイナス電圧の範囲で使うのに適している。

この常に2種類あるNPNとかPNPの型の機能的な違いは何なのでしょうか。それは、型の違いにより電流や電圧の向きが逆方向となるのです。これを図で表すと図2.5.3となります。図のように増幅作用そのものは同じなのですが、電流の流れる向きが、エミッタの矢印の向きと同じになって、全く逆方向となります。つまり**NPN型**はプラス電圧の範囲で使うのに適しており、**PNP型**はマイナス電圧の範囲で使うのに適しているようにできているわけです。

◆図2.5.3　NPN型とPNP型の電流の流れ

これらトランジスタの実際の形には、定格電力などによりたくさんの種類がありますが、代表的な形と端子配列は写真2.5.1のようになっています。

注意

形により端子配列が異なるので注意すること。
E：エミッタ
C：コレクタ
B：ベース

形により端子配列が異なりますので注意が必要です。しかし小信号用の小型トランジスタのピン配列は大部分同じに統一されていて、図に示されたとおりですが、これを覚えるにはトランジスタの型名印刷面を見て、左側から「えくぼ（ECB）」と覚えると忘れないでしょう。

◆写真2.5.1　各種トランジスタの形状と端子配列

2-5-3 トランジスタの規格表の見方

トランジスタの性能を表すために、いくつかの基本パラメータが規格表に掲載されています。パラメータは設計をする際には重要な項目です。そこでこのパラ

メータの見方を説明します。

まず、最初に規格表のどの項目に注目するかですが、これには大別して、絶対最大定格と電気的特性という2つの要素があります。

■絶対最大定格

常識
絶対最大定格の範囲内で使用すること。

いかなる使用条件でも超えてはならない限界値で、これを超えるとトランジスタが壊れます。絶対値は、電圧、電流、電力、温度の4項目で決められていて、私たちが注意しなければならないのは表2.5.2の項目の値です。

◆表2.5.2　絶対最大定格

項目	記号	名称	説明
電圧	V_{CEO}	コレクタ-エミッタ間電圧	通常のアンプやドライブ回路で、負荷として加えられる最大電圧。実際にはこの値の1／2以下とする。
電流	$I_{C(DC)}$	直流コレクタ電流	負荷として流す最大電流。これも実際には1／2以下で使用する。
電力	P_C	コレクタ損失	周囲温度25℃で、無限大放熱板付きの状態で消費可能な最大電力で、接合部温度が限界の150℃になる値。 実際に使うときには、放熱板のサイズと最大使用温度によって制限を受けるので、グラフにより実用範囲を確認する必要がある。

■電気的特性

次にトランジスタの性能を表すパラメータがあります。これも電子工作で私たちが意識しなければならないものは、表2.5.3の項目となります。

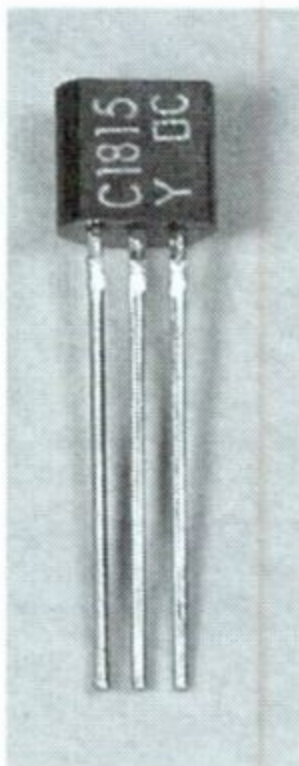
◆表2.5.3　電気的特性

記号	名称	説明
$V_{BE(ON)}$	直流ベース電圧	コレクタ-エミッタ間に十分な電流が流せる状態つまりトランジスタがONとなるベース・エミッタ間電圧で、コレクタ電流（I_C）とコレクタ・エミッタ間電圧（V_{CE}）で規定される。
h_{FE}	直流電流増幅率	エミッタ接地回路でのコレクタ電流とベース電流の比で、何倍増幅されるかを表す。この値が大きいほど性能がよいことになる。
$V_{CE(sat)}$	コレクタ飽和電圧	トランジスタがON状態のときのコレクタ・エミッタ間電圧の最小値。 次段のON／OFF制御電圧のLowレベルを規定する。 またこのとき流れるコレクタ電流との乗算が電力損失となる。
f_T	利得帯域幅積	電流増幅率が1になる最大周波数で、トランジスタの周波数特性を表している。この値が大きいほど周波数特性がよいといえる。 実際に使うときの周波数帯域は f_T/h_{FE}　となる。 したがって、ゲインを稼ごうとすると周波数帯域が狭くなるということになる。

実際のトランジスタの規格表はどうなっているのでしょうか。例えば東芝の有名なトランジスタである**2SC1815**の規格表は表2.5.4となっています。

◆**表2.5.4** 2SC1815の規格表（東芝セミコンダクター社：データシートより）

最大定格 (Ta = 25℃)

項　目	記　号	定　格	単位
コレクタ・ベース間電圧	V_{CBO}	60	V
コレクタ・エミッタ間電圧	V_{CEO}	50	V
エミッタ・ベース間電圧	V_{EBO}	5	V
コレクタ電流	I_C	150	mA
ベース電流	I_B	50	mA
コレクタ損失	P_C	400	mW
接合温度	T_j	125	℃
保存温度	T_{stg}	−55～125	℃

電気的特性 (Ta = 25℃)

項　目	記　号		最小	標準	最大	単位
コレクタしゃ断電流	I_{CBO}	V_{CB}=60V, I_E=0	−	−	0.1	μA
エミッタしゃ断電流	I_{EBO}	V_{EB}=5V, I_C=0	−	−	0.1	μA
直流電流増幅率	$h_{FE(1)}$(注)	V_{CE}=6V, I_C=2mA	70	−	700	
	$h_{FE(2)}$	V_{CE}=6V, I_C=150mA	25	100	−	
コレクタ・エミッタ間飽和電圧	$V_{CE\ (sat)}$	I_C=100mA, I_B=10mA	−	0.1	0.25	V
ベース・エミッタ間飽和電圧	$V_{BE\ (sat)}$	I_C=100mA, I_B=10mA	−	−	1.0	V
トランジション周波数	f_T	V_{CE}=10V, I_C=1mA	80	−	−	MHz
コレクタ出力容量	C_{ob}	V_{CB}=10V, I_E=0, f=1MHz	−	2.0	3.5	pF
ベース拡がり抵抗	$r_{bb'}$	V_{CE}=10V, I_E=−1mA, f=30MHz	−	50	−	Ω
雑音指数	NF	V_{CE}=6V, I_C=0.1mA, f=1kHz, R_G=10kΩ	−	1.0	10	dB

注：$h_{FE(1)}$分類　O：70～140、Y：120～240、GR：200～400、BL：350～700

規格表から、下記のようなことを読み取ります。

参考

・2SC1815
低周波電圧増幅用トランジスタ。有名なトランジスタで、電子工作でよく見かけるトランジスタです。

① トランジスタはV_{CEO}の最大電圧が50Vだから、余裕をみて25V以下で使う。

② トランジスタは最大150mAまで流せるが、最大400mWのコレクタ損失だからV_{CE}を5Vで使ったとすると400／5 = 80で80mA以下、余裕をみれば40mA以下に抑えておく必要がある。

③ 直流電流増幅率h_{FE}は通常は100ぐらい、選別でGR（2SC1815GR）を選べば200は確保できる。

④ 完全にONしたときのコレクタ電圧は最大でも0.25V以下にできる。

⑤ 増幅周波数帯域はf_Tが80MHzだから、h_{FE}を100とすれば、80/100から大体500kHzくらいまでしか使えないことになるので低周波用として使う。

2-5-4 トランジスタの選び方

トランジスタは非常に種類が多く、どれを選択したらよいか迷います。そこで実際によく使われるものを選んでみました。

図2.5.4のように発光ダイオードを点滅させたり、リレーをドライブしたり、小型スピーカを駆動するようなとき使うタイプで、コレクタ電流が300mA以下では図2.5.4に示したタイプのトランジスタが使われます。

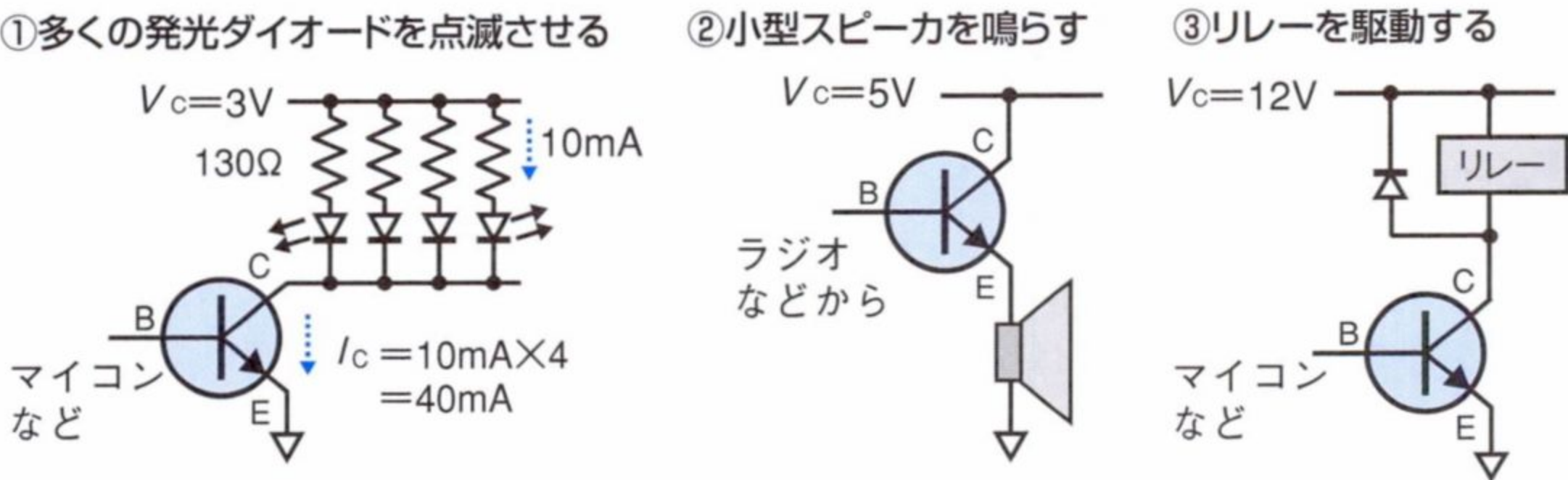
①多くの発光ダイオードを点滅させる

V_C=3V
130Ω
10mA
C
B
E
マイコンなど
I_C＝10mA×4
＝40mA

②小型スピーカを鳴らす

V_C=5V
C
B
E
ラジオなどから

③リレーを駆動する

V_C=12V
リレー
C
B
E
マイコンなど

品　名	形式	V_{CEO}	I_C	P_C	用　途
2SC1815	TO-92	50V	150mA	400mW	低周波増幅用
2SC4738	SSM	50V	150mA	100mW	低周波増幅用
2SA1832	SSM	−50V	−150mA	100mW	低周波増幅用
2SC3731	MINI	40V	200mA	250mW	高周波増幅、中速度スイッチング用
2SA1458	MINI	−40V	−200mA	250mW	高周波増幅、中速度スイッチング用

◆**図2.5.4**　トランジスタの選び方

アドバイス

大電流をドライブする場合は、発熱の少ないMOS型電界効果トランジスタ(MOSFET)を使います。

このような小信号に対して、モータを駆動させたり、たくさんの発光ダイオードを点滅させるような大電流をドライブする場合には、もっとたくさんの電流を流せるトランジスタが必要になりますが、このようなトランジスタは発熱が多く大型になってしまいますので、最近は発熱の少ないMOS型電界効果トランジスタ（MOSFET）が使われます。

2-5-5 トランジスタの寸法と実装方法

実際にトランジスタを基板に実装する場合の方法や注意事項を説明します。最近では大型のトランジスタはMOSFETに置き換わってしまったため、ここでは小信号用トランジスタの取り付け方のみ説明します。

小信号用トランジスタの基板実装用の穴あけと実装方法は、図2.5.5のようにします。3個の穴を一列に並べる方法もありますが、ピン間にパターンが通しにくくなります。

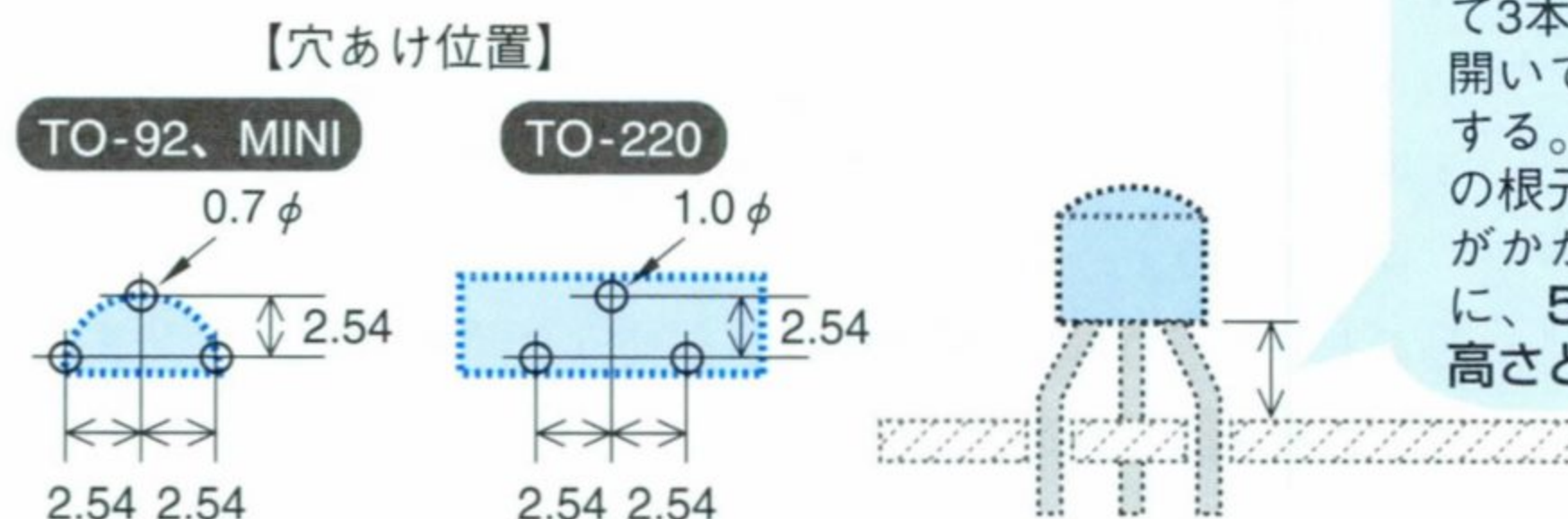
アドバイス

トランジスタを基板に取り付ける際は、3本の足を穴の間隔に合うように開いて挿入します。このとき、無理に押し込まずに、少し浮かせて取り付けます。

【穴あけ位置】

TO-92、MINI　0.7 φ　2.54　2.54 2.54

TO-220　1.0 φ　2.54　2.54 2.54

基板の穴に合わせて3本の足を少し開いて基板に挿入する。その際、足の根元にストレスがかからないように、**5mm以上の高さとする**

◆図2.5.5　小信号トランジスタの取り付け方法

2-5-6 電界効果トランジスタ（FET）の基本

参考

トランジスタ：入力の「電流」に比例して増幅される。

FET：入力の「電圧」に比例して増幅された電流が負荷に流れる。

参考

・端子の名称
　G：ゲート
　S：ソース
　D：ドレイン

電界効果トランジスタもトランジスタの1種ですから当然増幅機能があります。しかし、トランジスタと根本的に異なるのは入力側で、トランジスタは入力の「電流」に比例して増幅されますが、FETの場合には、**入力の「電圧」に比例して増幅された電流が負荷に流れます。**

電界効果トランジスタにはその構造から接合型電界効果トランジスタ（JFET）とMOS型電界効果トランジスタ（MOSFET（モスフェット））があります。

FETの回路図記号と端子の名称は図2.5.6となっています。トランジスタとは端子名称が全く異なり、**ゲート、ソース、ドレイン**と呼ばれますので注意してください。また回路図記号では、ゲートからソースへの矢印の向きによってP型とN型の区別をしています。JFETとMOSFETとは記号が異なっています。

ドレイン(D)　ゲート(G)　Q3 JFET N　ソース(S)

ドレイン(D)　ゲート(G)　Q4 JFET P　ソース(S)

ドレイン(D)　ゲート(G)　Q5 MOSFET N　ソース(S)

ドレイン(D)　ゲート(G)　Q6 MOSFET P　ソース(S)

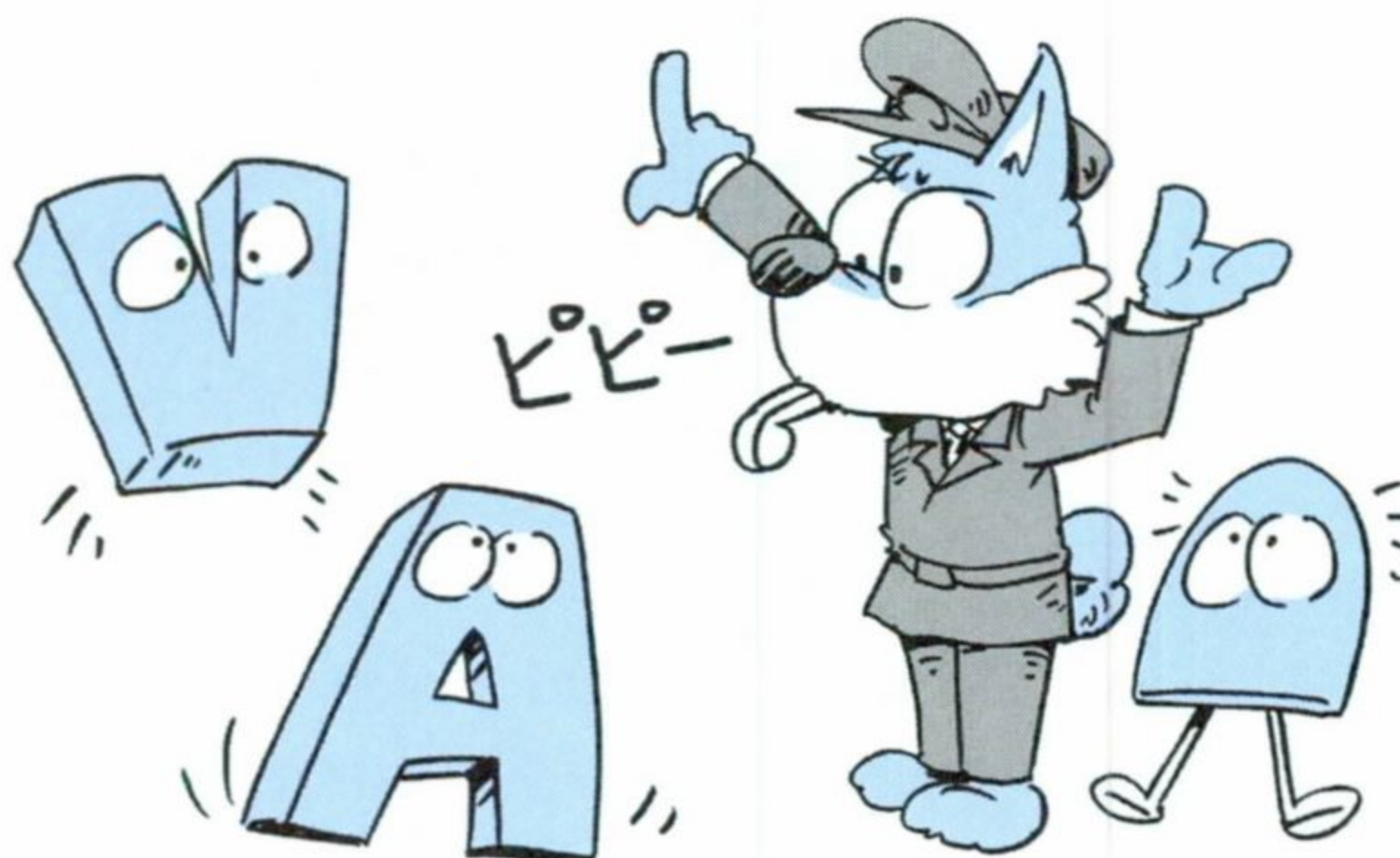
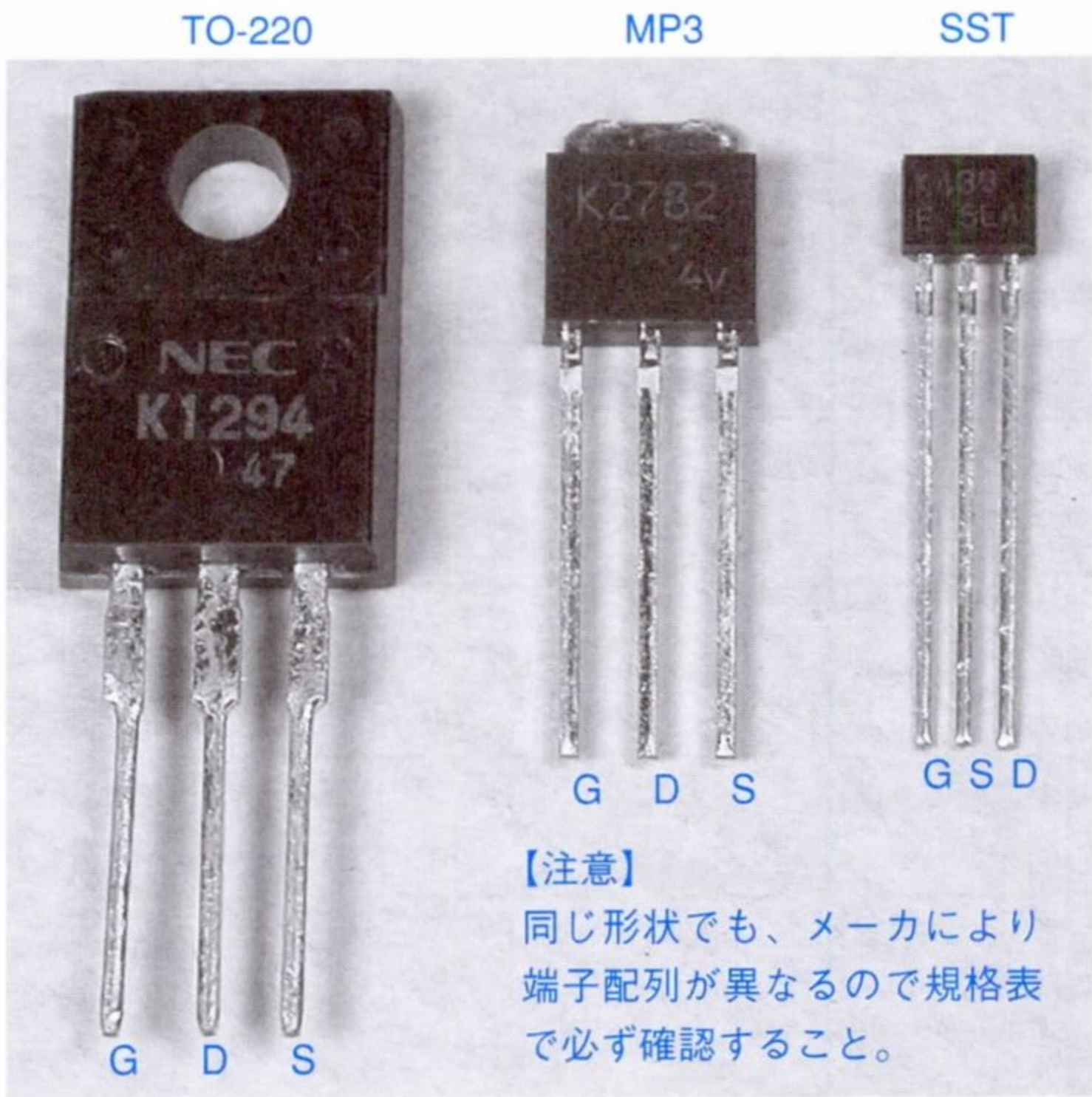
◆図2.5.6　FETの端子名称

FETにも定格電力の違いや、周波数特性などにより多くの種類の形があります。写真2.5.2はその代表的なものです。トランジスタと異なり、形状やピン配置が完全には標準化されておらず、種類により端子配列が異なっているだけでなく、同じ形状でも**メーカによって端子配列が異なっているので注意**が必要です。

ピピー

TO-220　MP3　SST

G D S　G D S　G S D

【注意】
同じ形状でも、メーカにより端子配列が異なるので規格表で必ず確認すること。

◆写真2.5.2　FETの形の種類と端子配列

2-5-7 電界効果トランジスタの規格表の見方

電界効果トランジスタ（FET）は通常のトランジスタとは少し異なった規格表となっていますが、大きく絶対最大定格と電気的特性と2種類あることに変わりはありません。

■絶対最大定格

常識
絶対最大定格の範囲内で使用すること。

いかなる使用条件でも超えてはならない限界値で、これを超えるとFETが壊れます。この絶対値は、電圧、電流、電力、温度の4項目で決められていて、私たちが気にするのは表2.5.5の項目の値です。

◆表2.5.5　FETの絶対最大定格

項目	記号	名称	説明
電圧	V_{DSS}	ドレイン・ソース間電圧	通常のアンプやドライブ回路で、負荷として加えられる最大電圧。 実際にはこの値の1／2以下とする。
電流	I_D	直流ドレイン電流	負荷として流せる最大電流。 これも実際には1／2以下で使う。
電力	Pd	ドレイン損失（許容損失）	周囲温度25℃で、無限大放熱板付きの状態で消費可能な最大電力。 実際に使うときには、放熱板のサイズと最大使用温度によって制限を受けるので、グラフにより実用範囲を確認する必要がある。

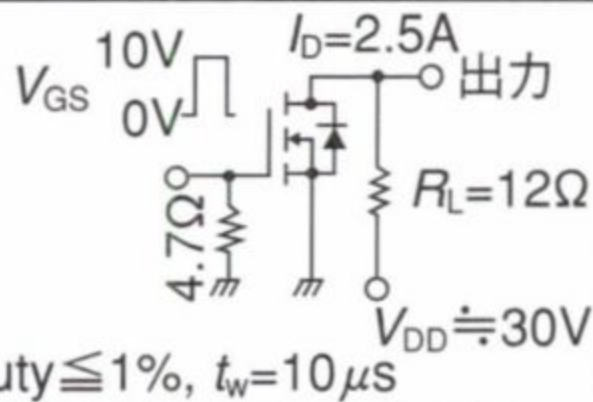
■電気的特性

次にFETの性能をあらわすパラメータがあります。これも電子工作で私たちが意識しなければならないものは、表2.5.6の項目となります。

◆表2.5.6 電気的特性

項目	名 称	説 明
I_{GSS}	ゲートしゃ断電流	ゲート・ソース間のもれ電流で、これが小さいほど入力インピーダンスが高いことになり、前段への影響を減らせる。
I_{DSS}	ドレイン電流	ゲートが0Vのときに流れるドレイン電流で、この値と増幅率g_mが相関するので選択できるようになっている。ドレイン電流が大きいほど増幅率も大きい。
$V_{P(VGS(off))}$	ピンチオフ電圧 （ゲート・ソースしゃ断電圧）	FETがOFFとなってドレイン電流が流れなくなるゲート電圧。V_P以下のゲート電圧にすればOFFとすることができる。
g_m	相互コンダクタンス	FETの増幅率を表す。この値は $g_m = I_D$の変化分／V_{GS}の変化分 で表される。したがってこの値が大きいほど性能がよいことになる。
$R_{DS(ON)}$	ドレイン・ソース間 オン抵抗	FETがONになったときのドレイン・ソース間の電気抵抗。特にMOS型パワーFETはオン抵抗が極端に低く規格として明記されている。低いほど負荷へのエネルギー伝達効率が高く発熱も少ないので性能がよいことになる。

最近のMOSFETはオン抵抗が非常に小さくなり、大電流の制御によく使われるようになりました。実際のMOSFETの規格表の例を表2.5.7に示します。これは東芝セミコンダクター社の2SK4033で、代表的なMOS型のFETの例です。

参考
・2SK4033
パワーMOSFET

◆表2.5.7 FETの規格表の実例（2SK4033）（東芝セミコンダクター社：データシートより）

最大定格（Ta=25℃）

項目		記号	定格	単位
ドレイン・ソース間電圧		V_{DSS}	60	V
ドレイン・ゲート間電圧（R_{GS}=20kΩ）		V_{DGR}	60	V
ゲート・ソース間電圧		V_{GSS}	±20	V
ドレイン電流	DC	I_D	5	A
	パルス	I_{DP}	20	A
許容損失（TC=25℃）		P_D	20	W
アバランシェエネルギー（単発）		E_{AS}	40.5	mJ
アバランシェ電流		I_{AR}	5	A
アバランシェエネルギー（連続）		E_{AR}	2	mJ
チャネル温度		T_{ch}	150	℃
保存温度		T_{stg}	−55〜150	℃

熱抵抗特性

項目	記号	最大	単位
チャネル・ケース間熱抵抗	$R_{th(ch-c)}$	6.25	℃/W
チャネル・外気間熱抵抗	$R_{th(ch-a)}$	125	℃/W

電気特性（Ta＝25℃）

項目		記号	測定条件	最小	標準	最大	単位
ゲート漏れ電流		I_{GSS}	V_{GS}=±16V, V_{DS}=0V	—	—	±10	μA
ドレイン遮断電流		I_{DSS}	V_{DS}=60V, V_{GS}=0V	—	—	100	μA
ドレイン・ソース間降伏電圧		$V_{(BR)DSS}$	I_D=10mA, V_{GS}=0V	60	—	—	V
		$V_{(BR)DSX}$	I_D=10mA, V_{GS}=-20V	35	—	—	V
ゲートしきい値電圧		V_{th}	V_{DS}=10V, I_D=1mA	1.3	—	2.5	V
ドレイン・ソース間オン抵抗		$R_{DS(ON)}$	V_{GS}=4V, I_D=2.5A	—	0.09	0.15	Ω
			V_{GS}=10V, I_D=2.5A	—	0.07	0.10	
順方向伝達アドミタンス		$\|Y_{fs}\|$	V_{DS}=10V, I_D 2.5A	3.0	6.0	—	S
入力容量		C_{iss}	V_{DS}=10V, V_{GS}=0V, f=1MHz	—	730	—	pF
帰還容量		C_{rss}		—	60	—	
出力容量		C_{oss}		—	95	—	
スイッチング時間	上昇時間	t_r	V_{GS} 10V 0V, I_D=2.5A, 出力, R_L=12Ω, 4.7Ω, V_{DD}≒30V, Duty≦1%, t_w=10μs	—	10	—	ns
	ターンオン時間	t_{on}		—	20	—	
	下降時間	t_f		—	4	—	
	ターンオフ時間	t_{off}		—	35	—	
ゲート入力電荷量		Q_g	V_{DD}≒48V, V_{GS}=10V, I_D=5A	—	15	—	nC
ゲート・ソース間電荷量		Q_{gs}		—	11	—	
ゲート・ドレイン間電荷量		Q_{gd}		—	4	—	

ソース・ドレイン間の定格と電気的特性（Ta＝25℃）

項目	記号	測定条件	最小	標準	最大	単位
ドレイン逆電流（連続）	I_{DR}	—	—	—	5	A
ドレイン逆電流（パルス）	I_{DRP}	—	—	—	20	A
順方向電圧（ダイオード）	V_{DSF}	I_{DR}=5A, V_{GS}=0V	—	—	-1.7	V
逆回復時間	t_{rr}	I_{DR}=5A, V_{GS}=0V	—	34	—	ns
逆回復電荷量	Q_{rr}	dI_{DR} / dt=50A / μs	—	28	—	μC

この規格表から、下記のようなことを読み取ります。

① FETはV_{DSS}の最大電圧が60Vだから、余裕をみて30V以下で使う。

② FETは直流で連続最大5Aまで流せるが、最大20Wのコレクタ損失だからV_{DS}を5Vで使ったとすると20W/5V=4Aで4A以下なので、最大4Aの1/3で1.3A以下程度で使うべき。

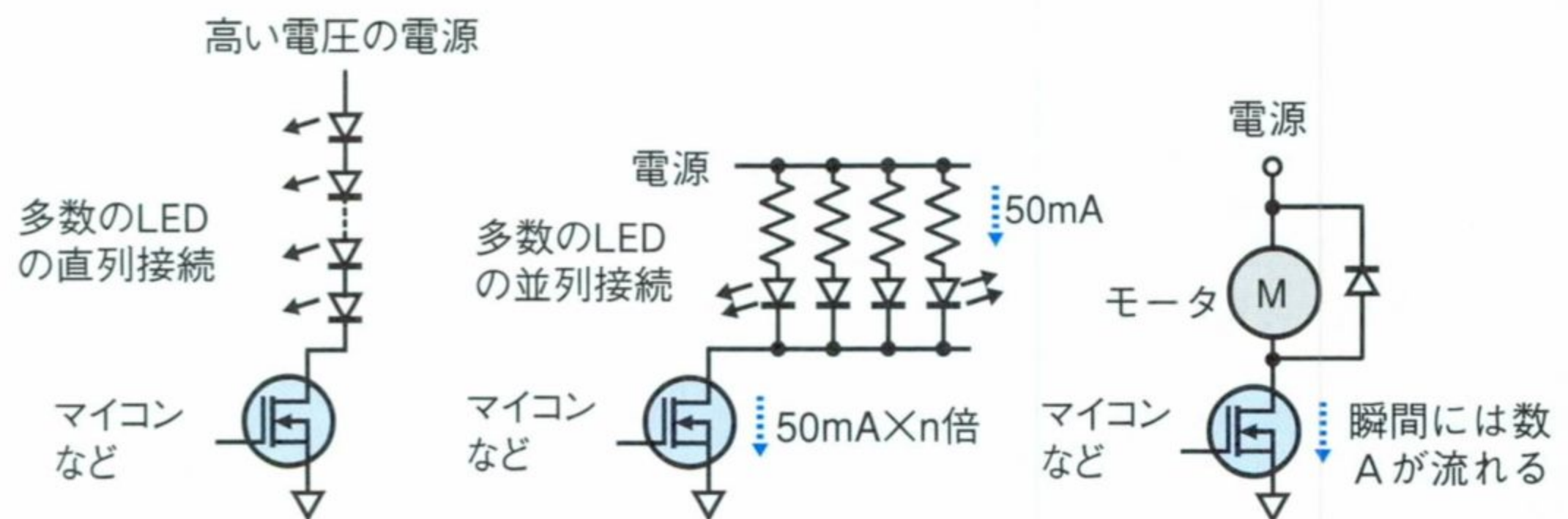
③ ゲートしきい値電圧が最大2.5Vなので5Vのマイコン出力で直接制御ができる。

④ ドレイン・ソース間のオン抵抗が0.15Ω以下なので、1Aの電流を制御しても、0.15Wの発熱なので放熱器は必要なし。

2-5-8 FETの選び方

モータ制御や、大型の発光ダイオードの点滅制御、電力制御を行う場合には、最近はほとんどMOSFETが使われます。これはMOSFETが小型のパッケージのもので大電流を制御できるためです。図2.5.7のように、たくさんの発光ダイオードを制御したり、モータを駆動するとき使われます。このとき、制御可能な電圧と

電流がFETを選択するポイントになります。よく使われるMOSFETは図に示したようなものです。

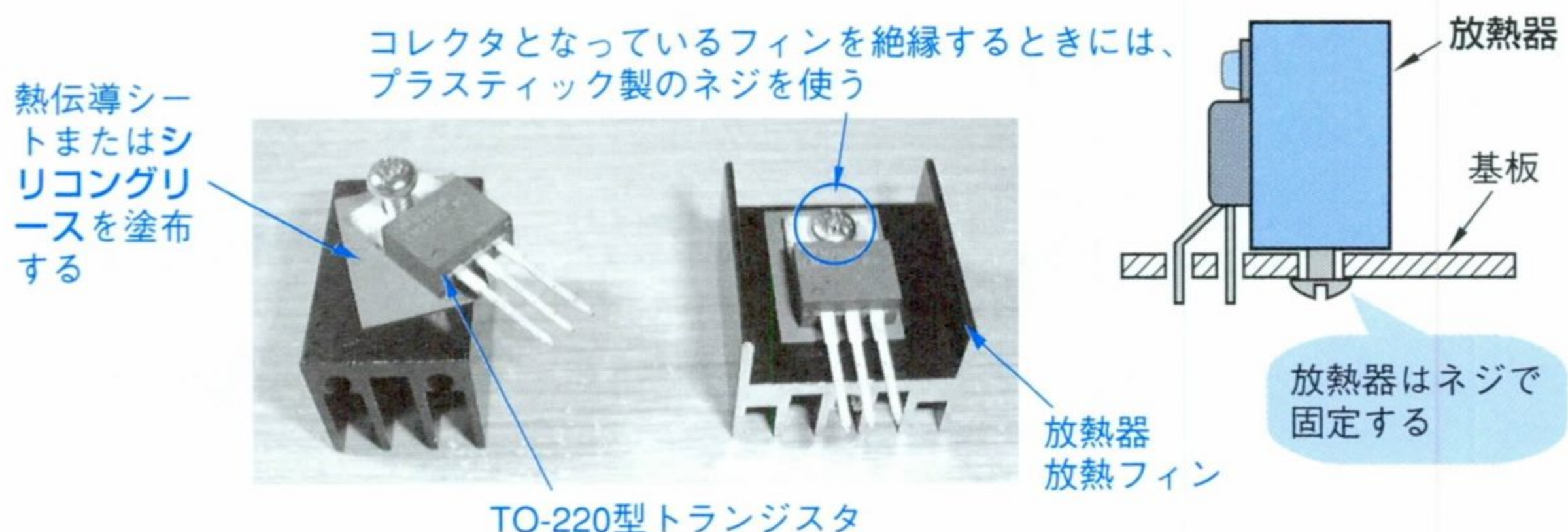
高い電圧の電源
多数のLEDの直列接続
マイコンなど
電源
多数のLEDの並列接続
50mA
マイコンなど
50mA×n倍
電源
モータ
M
マイコンなど
瞬間には数Aが流れる

品名	形式	V_{CEO}	I_C	P_C	オン抵抗	用途
2SK2232	TO220	60V	25A	35W	0.036Ω	高速大電流スイッチング
2SK2782	MP3	60V	20A	40W	0.042Ω	モータ駆動、電源用
2SK4033	MP3	60V	5A	20W	0.15Ω	モータ駆動、電源用
2SJ377	MP3	−60V	−5A	20W	0.28Ω	高速大電流スイッチング

◆図2.5.7 MOSFET一覧

2-5-9 FETの実装

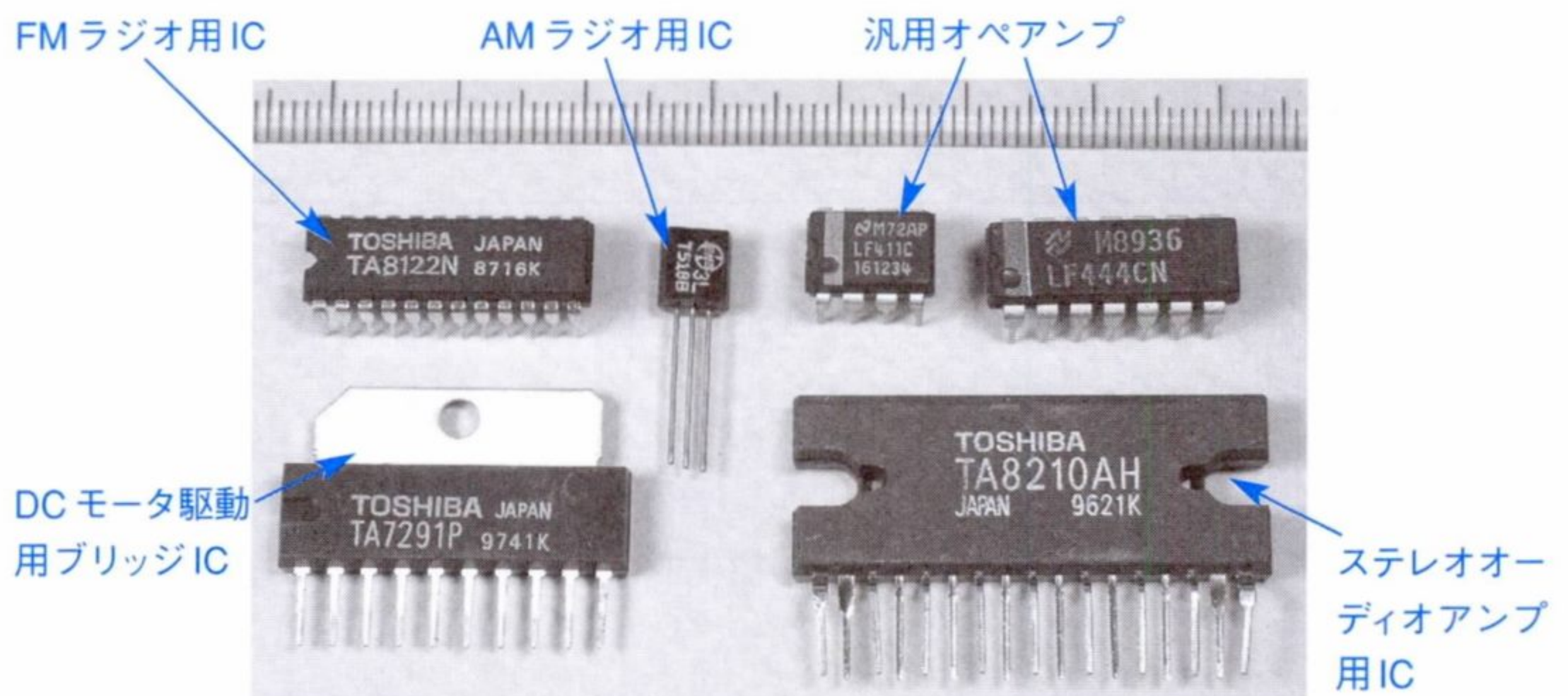
MOSFETはトランジスタと同じ形をしていますので、基本的には同じ実装方法ですが、大電流を扱うことが多く、放熱を意識した実装が必要です。

TO-220タイプのトランジスタは放熱器が必要になることが多いのですが、その取り付けには写真2.5.3のように**熱伝導シート**か**シリコングリス**を間に塗布して、熱伝導をよくして取り付けます。このとき、トランジスタの放熱フィンが金属の場合は、コレクタ（ドレイン）端子とつながっているので、絶縁の必要があるときには、絶縁カラースペーサを使ってねじを絶縁し、プラスチック製ネジを使って固定します。

熱伝導シートまたはシリコングリースを塗布する
コレクタとなっているフィンを絶縁するときには、プラスティック製のネジを使う
TO-220型トランジスタ
放熱器
放熱フィン
放熱器
基板
放熱器はネジで固定する

◆写真2.5.3 TO-220型トランジスタの取り付け方法

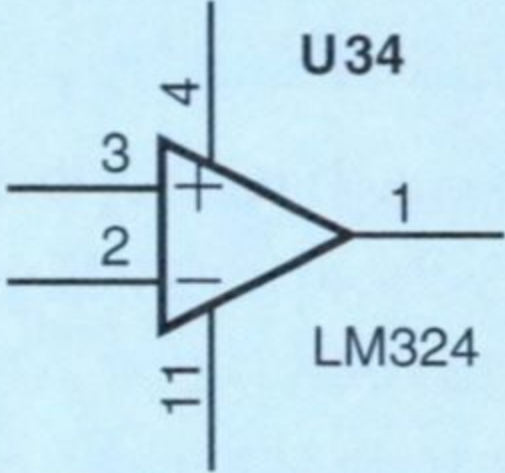
2-6 アナログIC

アナログ信号を扱うIC（アイシー）ですが、これには専用機能を組み込んだICを含めると非常に多種類のICがあります。特に電源用やオーディオ用などの低周波を扱うICから、FMラジオ用などの高周波用のICまで千差万別のものがあります。写真2.6.1はアナログICの参考例です。以下に汎用的なアナログICであるオペアンプと3端子レギュレータなどについて説明します。専用のアナログICについては、それぞれのカタログや説明書を集めて調べることになります。

FMラジオ用IC
AMラジオ用IC
汎用オペアンプ
DCモータ駆動用ブリッジIC
ステレオオーディオアンプ用IC

◆写真2.6.1　代表的なアナログICの例

2-6-1 汎用オペアンプ

用語解説
・オペアンプ
アナログ入力を一定の比で増幅して出力する機能をもったIC。
・フィードバック回路
出力から入力側に抵抗を介して出力信号が戻るようになっている回路。

汎用**オペアンプ**はアナログICの基本となる素子で、名称はOperational Amplifireの略で、OP（オペ）アンプと呼ばれています。基本機能は線形増幅器ということで、アナログの入力を一定の比で増幅して出力する機能を持っています。

オペアンプは、非常に増幅率が高く、10^5倍以上あるため、回路設計上は無限大の増幅率をもつ理想的な増幅器として扱うことができます。あとで説明しますが、この無限大の増幅率という前提があると、フィードバック回路を構成したとき増幅率が抵抗の比だけで決まり一定とできます。ここにオペアンプが開発された最大の理由があります。

最近のオペアンプは、見かけ上はデジタルICと同形状で、内部実装個数によりピン数が変わります。多くは1個のICに1個か2個、または4個内蔵しています。

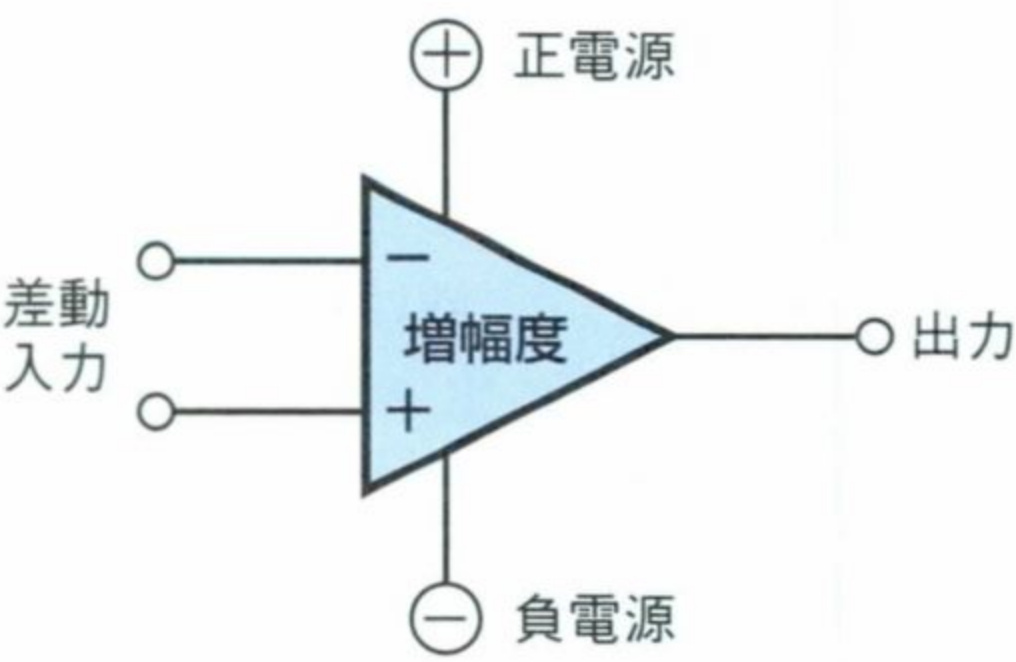
2-6-2 オペアンプの回路図記号

オペアンプの回路図での表現方法はいくつかありますが、代表的なものは表2.6.1のようになっています。プラス／マイナスの2本の入力と、1つの出力ピンを持っています。その他にはプラス／マイナスの2電源ピンがあります。

◆表2.6.1 オペアンプの回路図記号

回路図記号	略号	名称	機能・特徴
U34 / LM324 (3 +, 2 −, 1, 4, 11)	OP AMP	オペアンプ	最も汎用的なアナログ増幅器。 電源端子（4、11）は省略されることもある。 正負の2電源を必要とするものと単電源でよいものとがある。
U2 / TL081 (3 +, 2 −, 6, 7, 1, 4, 5)	OP AMP	オペアンプ	オフセット調整端子つきの汎用アナログ増幅器。 電源端子（4、7）は省略されることもある。

2-6-3 オペアンプの基本特性と使い方

オペアンプの基本構成を図で表すと図2.6.1のようになり、＋入力ピンと－入力ピンからなる「差動入力ピン」と1個の出力ピン、それと＋と－の2つの電源ピンからなっています。基本的な動作は、差動入力のピン間の電圧差が増幅されて出力に現れるという動作です。＋入力側の方の電圧が高ければ出力も＋側となり、－入力側の電圧が高ければ、出力は－出力となります。逆に入力電圧が数Vと高くても、＋と－の電圧に差がなければ出力は0のままとなります。

◆図2.6.1 オペアンプの基本構成

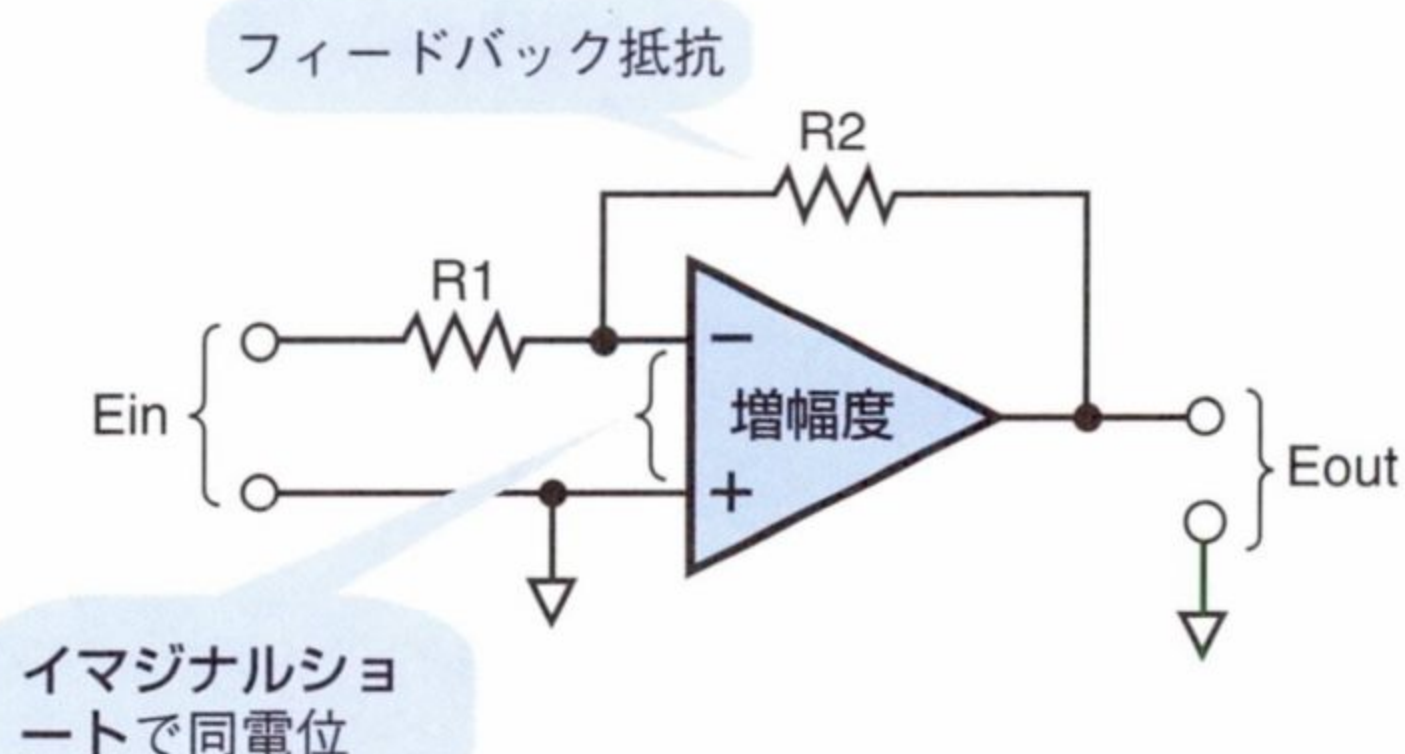
ポイント
ネガティブフィードバック（負帰還）を利用してオペアンプを使う。反転増幅回路、非反転増幅回路の2種類がある。

ところがこのままでは、オペアンプの増幅度が10^5倍というような無限大に近い大きさがあるため、そのまま使ったのでは、ほんのわずかでも差動入力電圧があると出力は＋か－の最大値に張り付いてしまい、実用的に使えるアンプとはなりません。しかし、増幅度が無限大に近いということが大きなメリットとなる方法があります。これが**ネガティブフィードバック**という方法です。日本語では負帰還といいます。このネガティブフィードバックを利用してオペアンプを使うのが基本的な使い方です。基本的な回路には大別すると、反転増幅回路と非反転増幅回路の2種類があります。

用語解説
・反転増幅回路
入力に対して出力の±の極性が反転する回路。

■反転増幅回路

最も原理的な**ネガティブフィードバック（負帰還）**を実現する回路が図2.6.2です。この回路では、入力の差動電圧の－側がプラス電位になると、出力にマイナス電圧が生じます。反対にマイナス電位になると出力にプラス電圧が生じます。このように入力に対して出力の±の極性が反転するので、**反転増幅回路**と呼びます。

フィードバック抵抗
R2
R1
Ein
－
増幅度
＋
Eout
イマジナルショートで同電位

◆図2.6.2　反転増幅回路

この回路では出力から入力側に抵抗R2を介して出力信号が戻るようになっています。これを**フィードバック**といいます。さらに戻ってくる電圧は極性が逆になっているので、**ネガティブフィードバック**と呼びます。

この回路の動作はまず無限大の増幅度ですから、差動入力に少しでも差があると、オペアンプの出力となって現れます。しかしすぐ出力が入力側にフィードバックされ、極性が反対ですから出力が出ないよう、つまり差動入力の差がなくなるように働きます。そして出力電圧は入力へのフィードバックがちょうど入力を打ち消す値でバランスがとれて安定します。

用語解説
・イマジナルショート
差動入力端子間に電位差がない状態。

結果的にオペアンプの差動入力端子間は、いつも同じ電圧になるように動作することになります。これを**イマジナルショート**と呼んでいます。イマジナルショートの両者はいつも同じ電圧ですから、実際に接続されているものと仮定して回路を簡単化すると、図2.6.3のように簡単になってしまいます。この回路ではa点で仮想的に接続されているとすると、左右両方向からの電流が等しく逆向きになって釣り合うわけですから、図の式のように考えることができます。つまりオペアンプ回路の増幅度(A)は、

A＝R2／R1

ということになります。結果として、この回路では2個の抵抗の比だけで増幅度が決定される非常に考えやすい回路となります。これがオペアンプの最大のメリットで、増幅度が抵抗の比だけで決まるため回路設計が非常にやりやすくなります。

R1　a点　R2
Ein　Eout

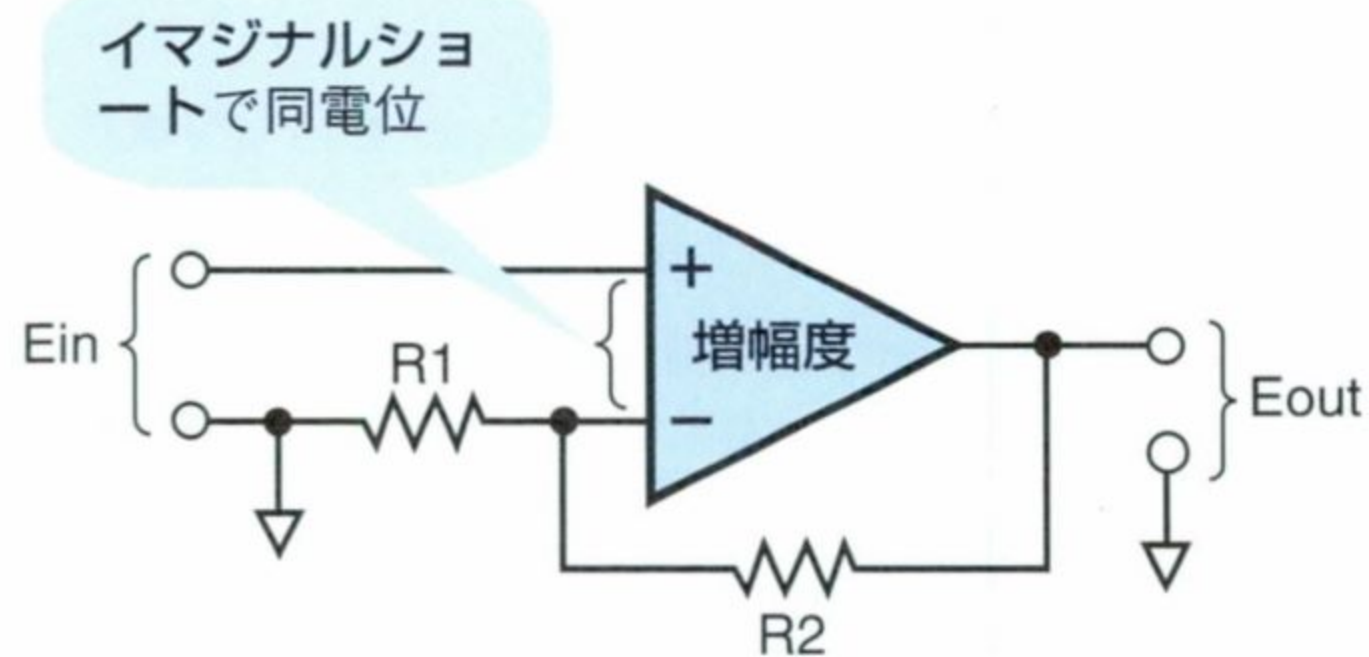
$$\frac{Ein}{R1}=\frac{Eout}{R2}$$ したがって $$\frac{Eout}{Ein}=\frac{R2}{R1}$$

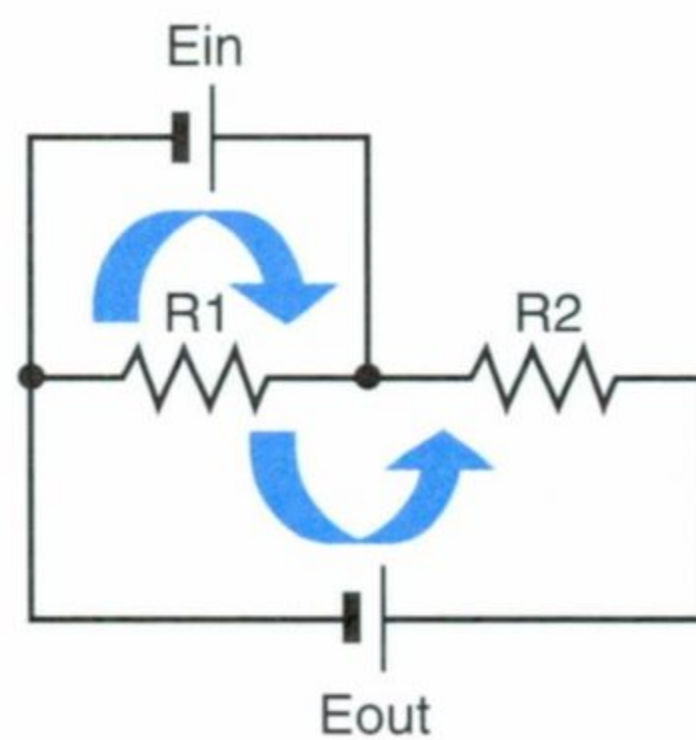
◆図2.6.3　反転増幅回路の増幅度

用語解説

・**非反転増幅回路**
入力と出力が同じ極性になるようにしたネガティブフィードバック回路。

■非反転増幅回路

上記の反転増幅回路に対して、図2.6.4のように、入力と出力が同じ極性になるようにしたネガティブフィードバック回路を**非反転増幅回路**と呼びます。入力と出力が同じ極性となるので実際に使うときには扱いやすい回路となります。

◆図2.6.4 非反転増幅回路

差動入力のプラス／マイナスが、反転増幅回路とは逆なことに注意してください。これにより、出力に現れた電圧はやはり入力電圧を打ち消す方向に働くので、バランスが取れたところで出力電圧が安定します。この回路を反転増幅回路と同じようにイマジナルショートを使って簡単化すると、図2.6.5のように考えることができます。

$$\mathrm{Ein} = \mathrm{Eout} \times \frac{R1}{(R1+R2)} \quad \text{したがって} \quad \frac{\mathrm{Eout}}{\mathrm{Ein}} = \frac{(R1+R2)}{R1}$$

◆図2.6.5 非反転増幅回路の増幅度

図のように、電圧は同じ向きですから、Eoutを分圧したらEinと同じになるというように考えると、非反転増幅回路での増幅度(A)は、

$$A = \mathrm{Eout}/\mathrm{Ein} = (R1 + R2)/R1 = 1 + R2/R1$$

となります。ここでも増幅度が抵抗の比だけで決まりますので扱いが簡単になります。

2-6-4 オペアンプの規格表の見方

常識

最大定格の範囲内で使用すること。

オペアンプの性能を調べるのにもやはり規格表を使います。規格表にはいくつかのパラメータが記載されていますが、私たちが調べるときに使うのにはやはり最大定格と電気的特性という2つの要素です。

■最大定格

これ以上の使用条件で使うと壊れるという限界値を規定したものです。電圧と温度で規定されていて、私たちが注意しなければならないのは表2.6.2の項目です。

用語解説

・オフセット電圧
オペアンプの内部回路のばらつきにより、入力電圧が0Vのとき出力される電圧をオフセット電圧と呼ぶ。

◆表2.6.2 最大定格の項目

記号	名称	説明
電源電圧	V_{CC}、V_{EE}	使用可能な最大の電源電圧でV_{CC}は＋側でV_{EE}は一側。最近では±両端間の最大電圧で表すことが多くなった。
入力電圧	V_{IN}	加えられる最大の入力電圧。電源電圧にも制限される。
動作温度	T_A	オペアンプを使用できる最大、最小の周囲温度。

■電気的特性

オペアンプの性能そのものを表すパラメータで、これをもとにして設計していきます。オペアンプを使う目的によって必要なパラメータが異なってくるので、ここでは表2.6.3に一般的に必要とされるパラメータをまとめておきます。

◆表2.6.3 電気的特性

記号	名称	説明
V_{IO}	入力オフセット電圧	内部回路のばらつきによって発生するもので、出力を0Vにするために必要な入力電圧差をいう。外部からこれをキャンセルする回路を追加できるピンが出ているものもある。
$\Delta V_{IO}/\Delta T$	入力オフセット電圧温度係数	入力オフセット電圧が温度により変化する度合いを表している。これが小さいほど精度の高いオペアンプといえる。
V_{O+} V_{O-}	出力電圧振幅	出力電圧が最大どこまで出るかを表している。通常は電源電圧より数V低くなるが、これが0.3V以下までとほぼ電源電圧近くまで振れるものがある。これをRail to Railと呼んでいる。
f_T G_{BW}	しゃ断周波数 利得帯域幅積	オペアンプの増幅率は、扱う周波数が高くなるとともに下がっていくが、このとき電圧増幅率が1になる周波数を表す。この値が大きいほど周波数特性のよいオペアンプといえる。
SR	スルーレート	入力電圧の変化に出力電圧がどれほど早く追従できるかを表している。

参考

・NJM2119
2回路入り単電源高精度オペアンプ。

それでは実際の規格表はどうのようになっているのでしょうか。オペアンプの規格表の表現方法はメーカによって多少異なっていますが、上記の基本的なパラメータはどこのメーカの規格表にもありますので問題ないでしょう。

表2.6.4は、NJM2119という新日本無線（JRC）製の単電源高精度オペアンプの規格表です。

◆表2.6.4　オペアンプ（JRC製NJM2119）の規格表の実例（新日本無線：データシートより）

電気的特性（V^{+}=5.0V、Ta=25±2℃）

項目	記号	条件	最小	標準	最大	単位
入力オフセット電圧	V_{IO}	R_S≦50Ω	－	90	450	μV
入力オフセット電圧温度係数	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	Ta=－30～＋85°	－	4.0	－	μV/℃
入力オフセット電流	I_{IO}		－	0.3	7.0	nA
入力バイアス電流	I_B		－	18	50	nA
消費電流	I_{CC}	R_L=∞	－	1.0	1.5	mA
同相入力電圧範囲	V_{ICM}		0～3.5	－	－	V
同相信号除去比	CMR		85	100	－	dB
電源電圧除去比	SVR		85	100	－	dB
電圧利得	A_V	R_L=600Ω	90	105	－	dB
最大出力電圧 1	$+V_{OM1}$	R_L=600Ω	3.4	4.0	－	V
	$-V_{OM1}$	R_L=600Ω	－	5.0	10.0	mV
最大出力電圧 2	$-V_{OM2}$	I_{SINK}=1mA	－	220	350	mV
スルーレート	SR	A_V=1	－	0.3	－	V/μs
利得帯域幅積	GB		－	1.0	－	MHz

この表から下記のような内容が読み取れます。

① オフセット電圧が小さいので、10ビットA/Dコンバータ用の増幅に使ってもオフセットは無調整で大丈夫。
② 出力振幅は電源より1.6V低くなることがあるので、出力電圧で5Vを確保したいときには7V以上の電源が必要となる。
③ スルーレートが0.3V／μsと小さいので、μsecオーダーの早い変化の信号を扱うには無理がある。
④ 利得帯域幅積が1MHzなので、10倍以上のゲインをとると数10kHz以下の周波数までしか増幅できない。

2-6-5　オペアンプの選び方

オペアンプにも数多くの種類があって選ぶのは大変なことですが、一般によく使われているオペアンプを用途ごとに整理してみました。それが表2.6.5です。これらから自分の使う用途にあったオペアンプを選択してください。

これらはいずれも従来からある製品で、入手が容易なものに絞られています。最近開発されたオペアンプはさらに性能が格段に改良されており、徐々に私たちアマチュアにも入手できるようになっていくと思います。

◆表2.6.5　オペアンプ一覧表

品名	用途	メーカ	性能の特徴					特徴と使い方
			回路数	低雑音	単電源	FET入力	低オフセット	
LF741	初期の汎用		1					FET入力のスタンダード
LF356	汎用	ナショセミ	1			○		FET入力として入力バイアス電流を減少させた汎用
LF411	低オフセット汎用	ナショセミ	1				○	さらに入力オフセットもトリミングで減少させた汎用
NJM4558	オーディオ用、汎用	JRC	2	○				オーディオ向けに特に低雑音化
NJM4580DD	オーディオ用	JRC	2	○				さらにDC特性を改善した
μPC4570	最近の汎用	NEC	2	○				汎用として全体の特性が改善された
μPC4572	最近の汎用	NEC	2	○	○			汎用として全体の特性が改善された
μPC811	容量負荷用汎用	NEC	1			○		容量性負荷でも安定に動作する
μPC812	容量負荷用汎用	NEC	2			○		容量性負荷でも安定に動作する
LM358	単電源、汎用	ナショセミ	2		○			単電源用の汎用
LMC662C	単電源、汎用	ナショセミ	2		○			単電源用の汎用
LMC660C	単電源、汎用	ナショセミ	4		○			単電源用の汎用
MCP602	低消費、汎用	マイクロチップ	2		○		○	単電源の汎用、レールツーレール入出力
MCP6042	低消費、汎用	アナログデバイス	1		○		○	単電源の汎用、レールツーレール入出力

2-6-6　オペアンプの実装方法

オペアンプの実装といっても、最近のオペアンプは大部分がデュアルインライン型、つまりデジタルICと同じ形をしていますので、デュアルインラインと同じ穴あけで実装できます。またICソケットを使うことも多いのですが、これも通常のデジタル用と同じもので問題なく使うことができます。さらに、フラットパッケージが用意されていることも多く、小型化ができるようになりました。

オペアンプの実装で注意すべきことは、電源とグランドの供給方法と入力のノイズ対策です。オペアンプはもともと大きな増幅率を持ったアンプですから、電源やグランドにわずかでもノイズが混入していれば、それが大きなノイズとなって現れてきます。そこで、オペアンプへの電源供給には下記のような対策を施すようにします。

用語解説

・デュアルインライン
デジタルICと同じ形状をした、端子がパッケージの両側に2列に並んでいるもの。

■電源には必ずパスコンを実装する

これはデジタルICでもいえることですが、オペアンプでも同じで、外部からの影響をなくすと同時に、自分自身の電源電流の変動をコンデンサで吸収して安定動作をするようにします。この**パスコン**には高周波の変動を吸収できるように周波数特性のよいコンデンサを使うようにします。

鉄則

電源には必ずパスコンを実装すること。

参照

・パスコン → p.25

■オペアンプ周りのアナloグランドはデジタルグランドと切り離す

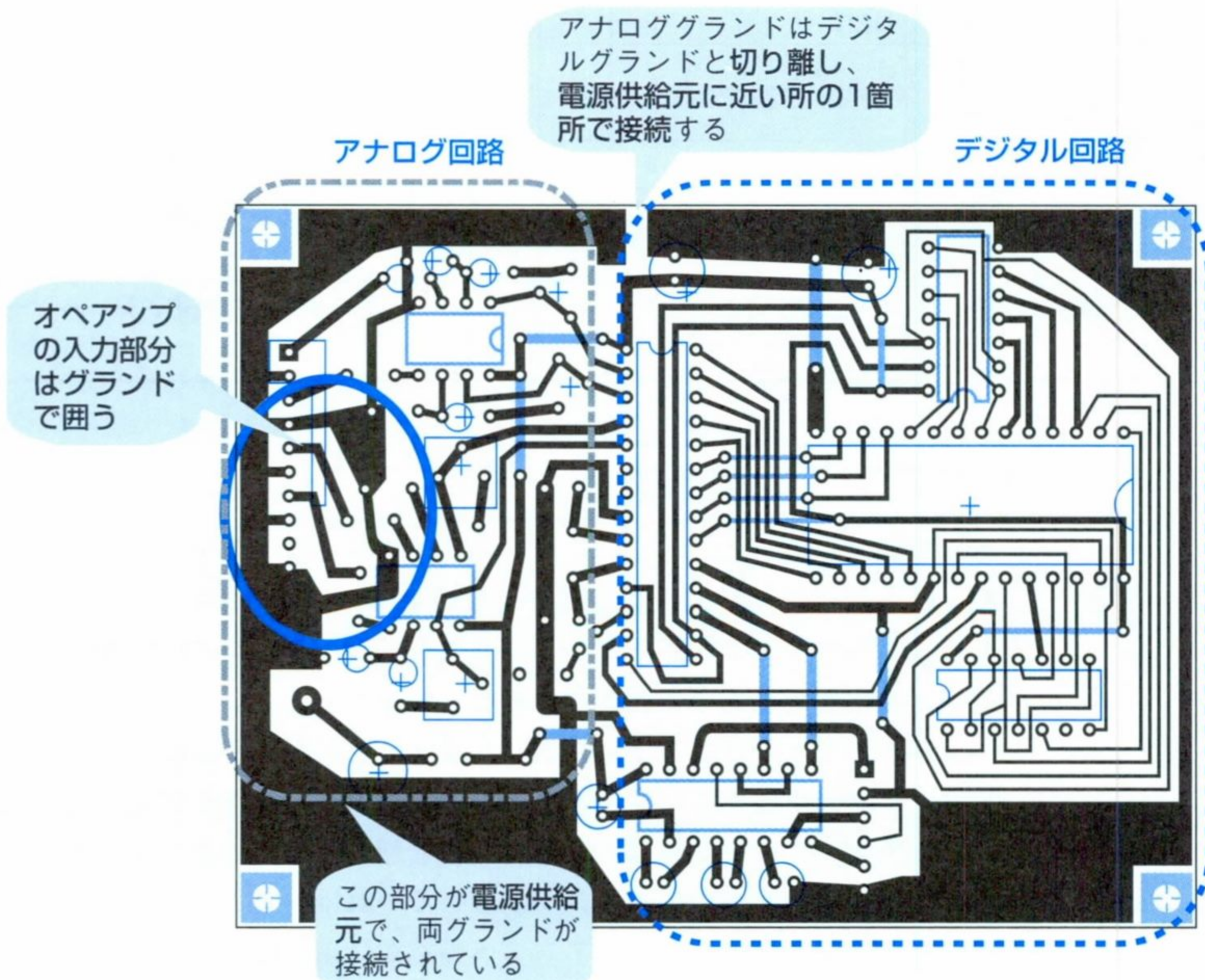
マイコン周辺機器としてオペアンプを使うような場合には、アナログ回路のグ

常識
プリント基板などでグランドパターンを作るときには、アナログ用グランドとデジタル用グランドは別々のパターンとして作成し、電源供給元の1個所で両者を接続するようにする。

常識
オペアンプの入力部分は、グランドで囲うこと。

ランドとデジタル回路のグランドを同じ電位にする必要がありますから、両方のグランドを接続する必要があります。しかし、プリント基板などでグランドパターンを作るときには、図2.6.6のように、アナログ用グランドとデジタル用グランドは別々のパターンとして作成し、電源供給元の1個所で両者を接続するようにします。こうすることでデジタル回路で発生する高周波のノイズが、アナログ回路に混入することを効果的に減らすことができます。

■入力回路の周りにグランドを配置する

一番最初のオペアンプへの入力回路部分は、一番外部からのノイズを受けやすいところです。そこで、入力回路部分を図2.6.6のようにアナロググランドで囲うようにしてパターンを配置します。こうすることで、周囲からのノイズが混入することを効果的に減らすことができます。

◆図2.6.6 オペアンプのグランドパターン例

2-6-7 電源用IC：3端子レギュレータ

3端子レギュレータは、最近の電源回路には必ずといってよいほど使われているICで、入力、出力、GNDの3本の端子だけでできているため、こういう名称で呼ばれています。機能は、出力電圧を常に一定に保つ働きを持ち、出力電流や入力電圧の変化に対しても安定な出力電圧を保ちます。

3端子レギュレータ用ICには、単純な固定電圧出力タイプと可変出力電圧タイプがあります。それらの代表的なものの外観を写真2.6.2と写真2.6.3に示します。

用語解説

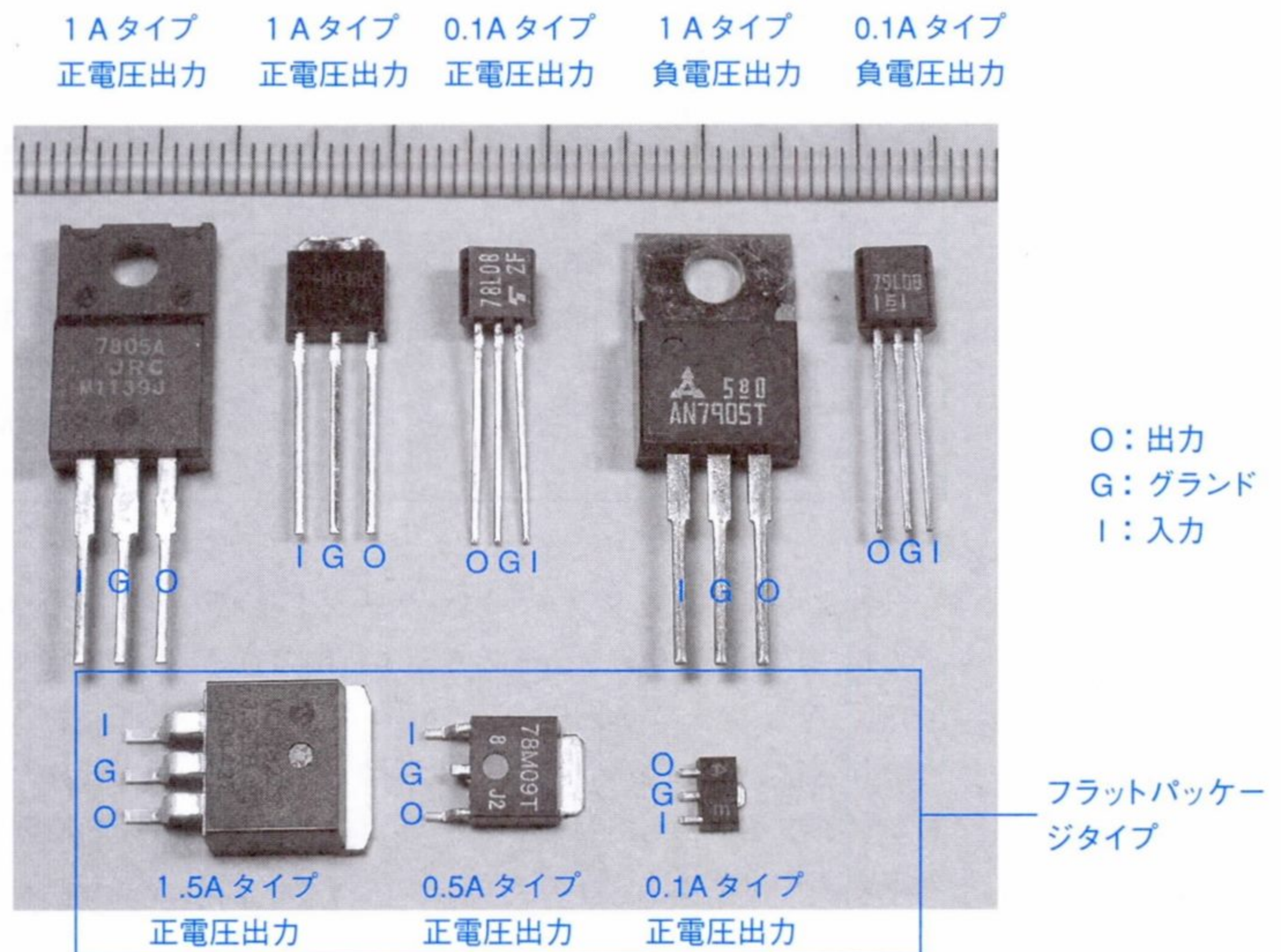
・3端子レギュレータ
出力電圧を常に一定に保つ働きを持ったIC。安定化電源回路（シリーズドロッパー方式）を製作する際に用いられる。

特に形のタイプと出力電圧の正負によって端子配列が異なるので使うときには注意が必要です。

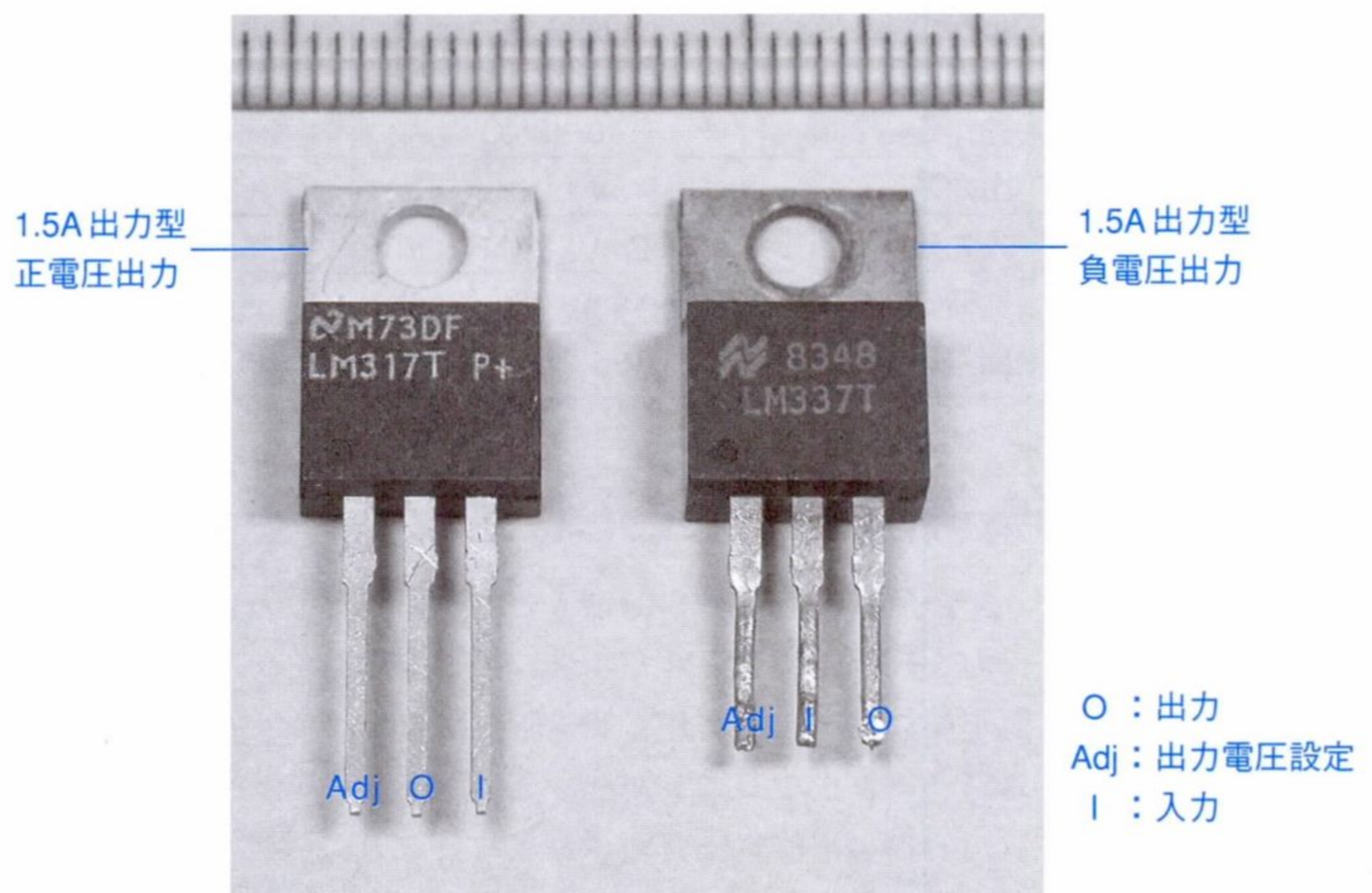
1Aタイプ 正電圧出力　1Aタイプ 正電圧出力　0.1Aタイプ 正電圧出力　1Aタイプ 負電圧出力　0.1Aタイプ 負電圧出力

I G O　I G O　O G I　I G O　O G I

O：出力
G：グランド
I：入力

フラットパッケージタイプ
1.5Aタイプ 正電圧出力　0.5Aタイプ 正電圧出力　0.1Aタイプ 正電圧出力

◆写真2.6.2　出力電圧固定型3端子レギュレータ

1.5A出力型 正電圧出力　Adj O I
1.5A出力型 負電圧出力　Adj I O

O：出力
Adj：出力電圧設定
I：入力

◆写真2.6.3　出力電圧可変型3端子レギュレータ

回路図記号も表2.6.6のように3ピンで表します。

◆表2.6.6 3端子レギュレータの回路図記号

回路図記号	名称	特徴と使い方
U10 7805 1 in GND out 3 2	固定出力型 3端子レギュレータ	固定電圧の出力を持つ電圧レギュレータで、100mA出力の小型のものから、1A出力の大型のものまである。 正出力と負出力があるが、端子の配列が異なるので注意。
U9 LM117 3 in Adj out 2 1	可変出力型 3端子レギュレータ	出力電圧が可変できる電圧レギュレータである。広い範囲で電圧を可変できる。100mA出力タイプから3A出力タイプまである。また正電圧用と負電圧用があるが、端子配列が異なるので注意。

用語解説

・**フラットパッケージ**
写真2.6.2の表面実装タイプのもの。

・**ロードロップタイプ**
3端子レギュレータで、入力と出力間の最低電圧差を低くした改良型のこと。

参照

・「実装方法」→ p.185

最近よく使われる**フラットパッケージ**タイプの固定出力型の3端子レギュレータの規格は、表2.6.7となっています。出力電圧の種類は1.8V、2V、2.5V、3V、3.3V、5Vとなっています。

これらはいずれも入出力間の電圧降下が小さく抑えられた改良タイプで、**ロードロップタイプ**とも呼ばれ、できるだけ低い入力電圧で使えるようになっていて効率をよくできます。

◆表2.6.7 3端子レギュレータの規格表（東芝セミコンダクタ社：データシートより）

項　目	TA48L033F 150mAタイプ	TA48033F 1Aタイプ
入力電圧	3.8V～16V	3.8V～16V
出力電流	0～150mA	0～1A
動作周囲温度	−40～85℃	−40～85℃
出力電圧	3.3V±0.16V	3.3V±0.16V
入力安定度	Typ2mV　Max20mV	Typ5mV　Max20mV
負荷安定度	Typ18mV　Max45mV	Typ5mV　Max20mV
出力雑音電圧	Typ135 μV	Typ115 μV

2-6-8 電源用IC：DC/DCコンバータIC

用語解説

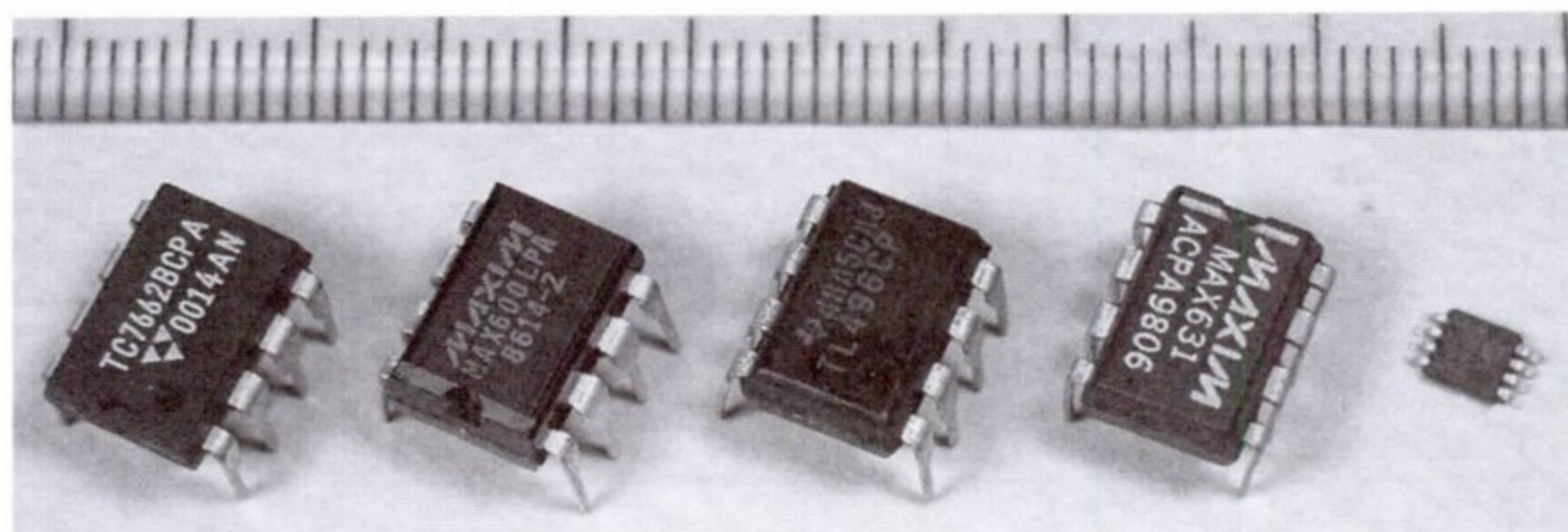
・**PWM制御**
パルス幅変調の略で、周波数一定でONとOFFの比を可変することで出力電圧を制御する。

・**DC/DCコンバータ**
直流入力から、異なる電圧の直流出力を生成するもの。

3端子レギュレータに代わって最近多く使われるようになったデバイスで、直流入力を高周波のPWMパルスに内部で変換し、これから異なる電圧や負電圧の直流を生成し、出力電圧制御をPWM制御で行います。入力より低い電圧を生成する**ステップダウンコンバータ**と、入力より高い電圧を生成する**ステップアップコンバータ**の2種類に大別されます。これ以外に、回路方式によってさらにいくつかに分類されますが、ここでは小容量で代表的なものに限定して説明します。

DC/DCコンバータの特徴は、原理的に入力電圧と出力電圧の差が発熱には関係せず、デジタルスイッチングのロスだけが発熱に影響します。さらに高性能のMOSFETを使うことで、スイッチングロスも小さくでき効率のよい変換ができるので発熱を非常に少なくできます。この特徴のため、最近では負荷電流が大きい

場合や、入力と出力の電圧差が大きい場合には、大部分このDC/DCコンバータが使われています。しかしデジタルスイッチングが動作原理になっていますので、**高周波ノイズが多いという欠点**があり、音声信号を扱う場合や、高精度のアナログ計測などの場合には注意して使う必要があります。

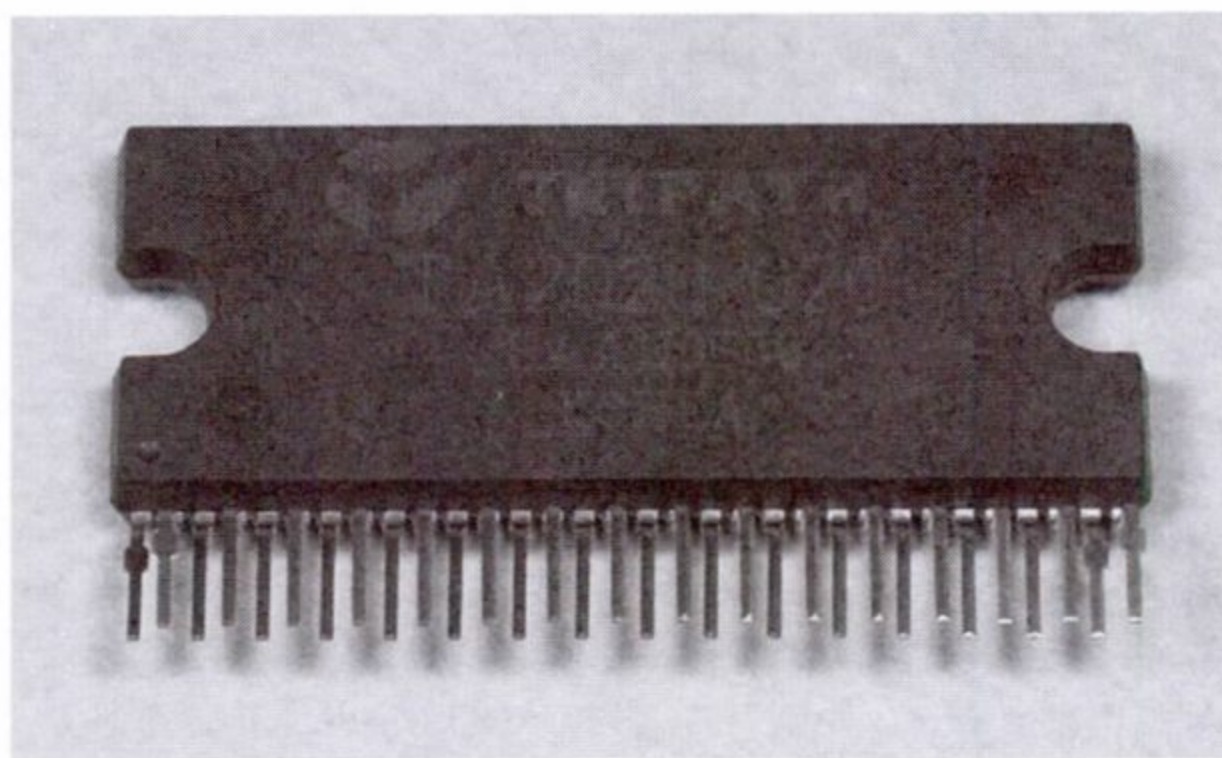
実際に使われるDC/DCコンバータ用ICは、写真2.6.4のような外観で小型のフラットパッケージのものが多くなっています。

◆写真2.6.4　DC/DCコンバータ用IC

2-6-9 オーディオパワーアンプ用IC

参考
デジタルアンプキットとして販売されているものがあります。キットなら簡単に製作できますので、まずはキットでチャレンジしてはいかがでしょうか。

専用のアナログICの代表的なものですが、**オーディオアンプ用**の出力アンプで、小型低出力のものから、大型高出力アンプまでさまざまな種類があります。使い勝手も、周りに抵抗とコンデンサをいくつか付加するだけでオーディオアンプが構成できるため手軽で便利に使えます。

このような1個のICで数Wから数10Wのステレオアンプも構成できるものがシリーズで用意されています。

さらに最近では、写真2.6.5のようなデジタル方式のアンプのICも容易に入手できるようになり、高級ステレオ並みの音質のアンプも自作できます。

◆写真2.6.5　デジタル方式のアンプICの例（TA2020-020）

◆表2.6.8 オーディオパワーアンプICの一覧

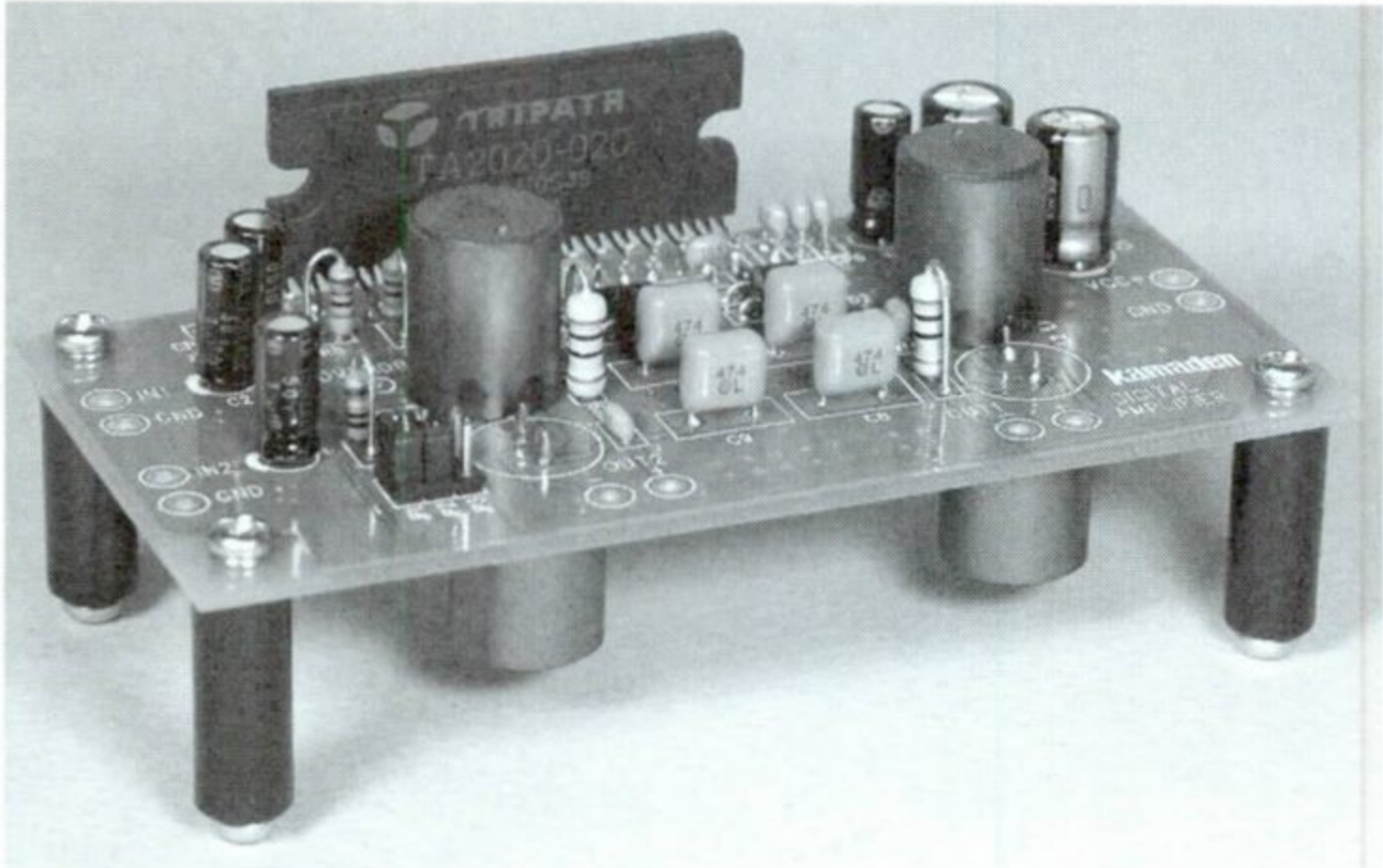
名称	メーカ	出力	機能・特徴
NJM386N	新日本無線	0.3W	モノラル、ちょっとスピーカを鳴らすときの定番
NJM2073	新日本無線	1.2W	モノラル ヘッドフォン用
TA7281P	東芝	5.8W×2	BTL 小型ステレオ
TA8210AH	東芝	19W×2	BTL ステレオ
TA8220H	東芝	19W×2	BTL ステレオ
TA2020	トライパス	20W×2	デジタルステレオアンプ
TA2041A	トライパス	70W×4	デジタル4CHアンプ
TAA4100A	トライパス	100W×4	デジタル4CHアンプ
TDA1552Q	フィリップス	22W×2	BTL ステレオ
TDA1554Q	フィリップス	22W×2	BTL ステレオ

実装の仕方や、使うべき部品などについての注意事項は全てデータシートに記入されていますので、参考にして組み立てます。

特に高出力のアンプは、**電源とグランドのパターンや配線の仕方で安定度が左右されますので注意**してください。これらのこともデータシートに書かれています。

回路を組むのはまだ無理という方は、写真2.6.6のような高音質のアンプキットがいろいろ市販されていますので、キットを利用してもよいと思います。

アドバイス

キットの販売店（品切れ、廃盤）などの情報は、インターネットで調べることができます。

◆写真2.6.6 アンプのキット例（TA2020KIT）

2-6-10 モータ制御ドライバIC

特殊な用途としては、**DCモータの制御ドライバIC**があります。定回転制御や、可変速制御なども可能なICがあり、マイクロコンピュータと接続して各種の複雑な制御を行うことが可能です。小型DCモータ制御用のHブリッジやパルス幅制御などの機能を持つICもあります。

特に最近はHブリッジもMOS型トランジスタを使ったものが多くなりました。MOS型トランジスタの場合には、ON抵抗が極端に低いので、電源を効率的にモータに伝えられるのと、発熱も少ないので便利に使うことができます。表2.6.9はこれらのモータ制御用ICの代表的なものです。

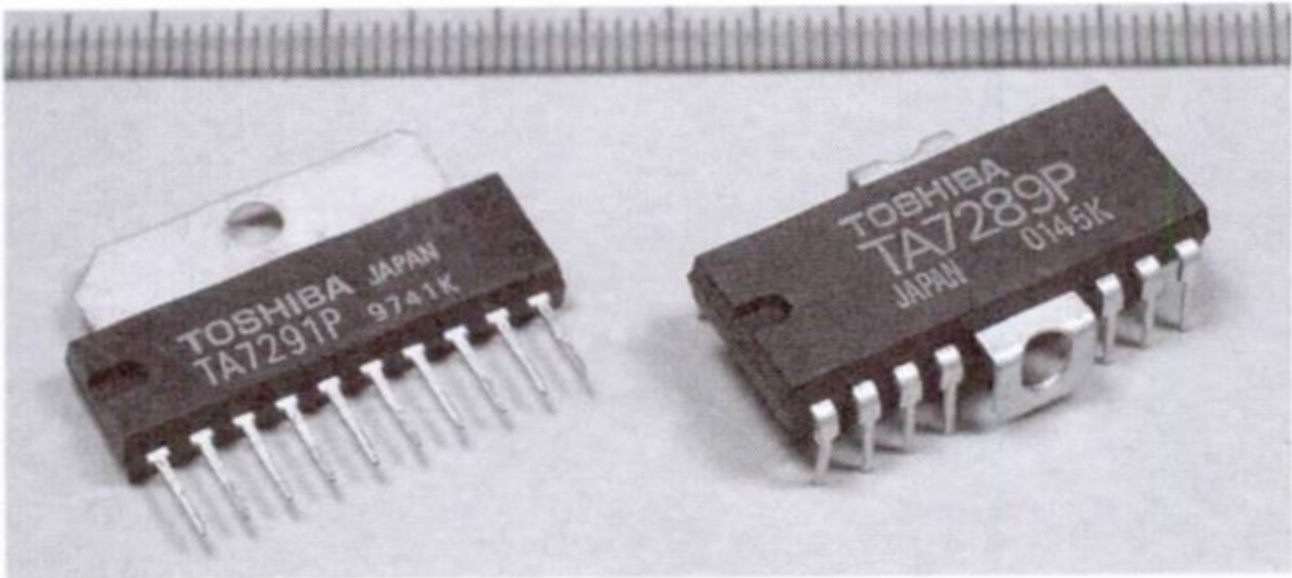
用語解説

・モータ制御ドライバIC
定回転制御や、可変速制御なども可能なIC。

・Hブリッジ回路
単一の電源でモータに加える電圧の向きを変えられる回路。フルブリッジ回路ともいう。

・パルス幅制御
PWM制御。周期を一定にして、パルスの“1”と“0”の割合を可変することで、通電する時間の平均エネルギーを可変制御しようとするもの。

◆表2.6.9　モータ制御用IC一覧

品名	構成	電圧	電流	メーカ　他
TA7291P	NPN×2＋PNP×2	25V	1A	東芝　バイポーラ
μPA1522	Nch×4	60V	2A	NEC　MOSペア
μPA1523B	Pch×4	60V	2A	
μPA1560	Nch×4	120V	3A	NEC　MOS
MP4212	Pch×2＋Nch×2	60V	5A	PchとNchのMOSペア
TA7289P	PWM制御 NPN×4	30V	0.7A	東芝 16段階PWM制御可能

TA7291P
トランジスタによる
フルブリッジを内蔵

TA7289P
PWM機能を内蔵

◆写真2.6.7　TA7291P、TA7289P

前記のモータ制御用ICの使い方は、Hブリッジを基本とします。**Hブリッジ**とは、DCモータを制御する場合に必ずお目にかかる回路で、DCモータの正転、逆転の制御に使うのが基本機能です。

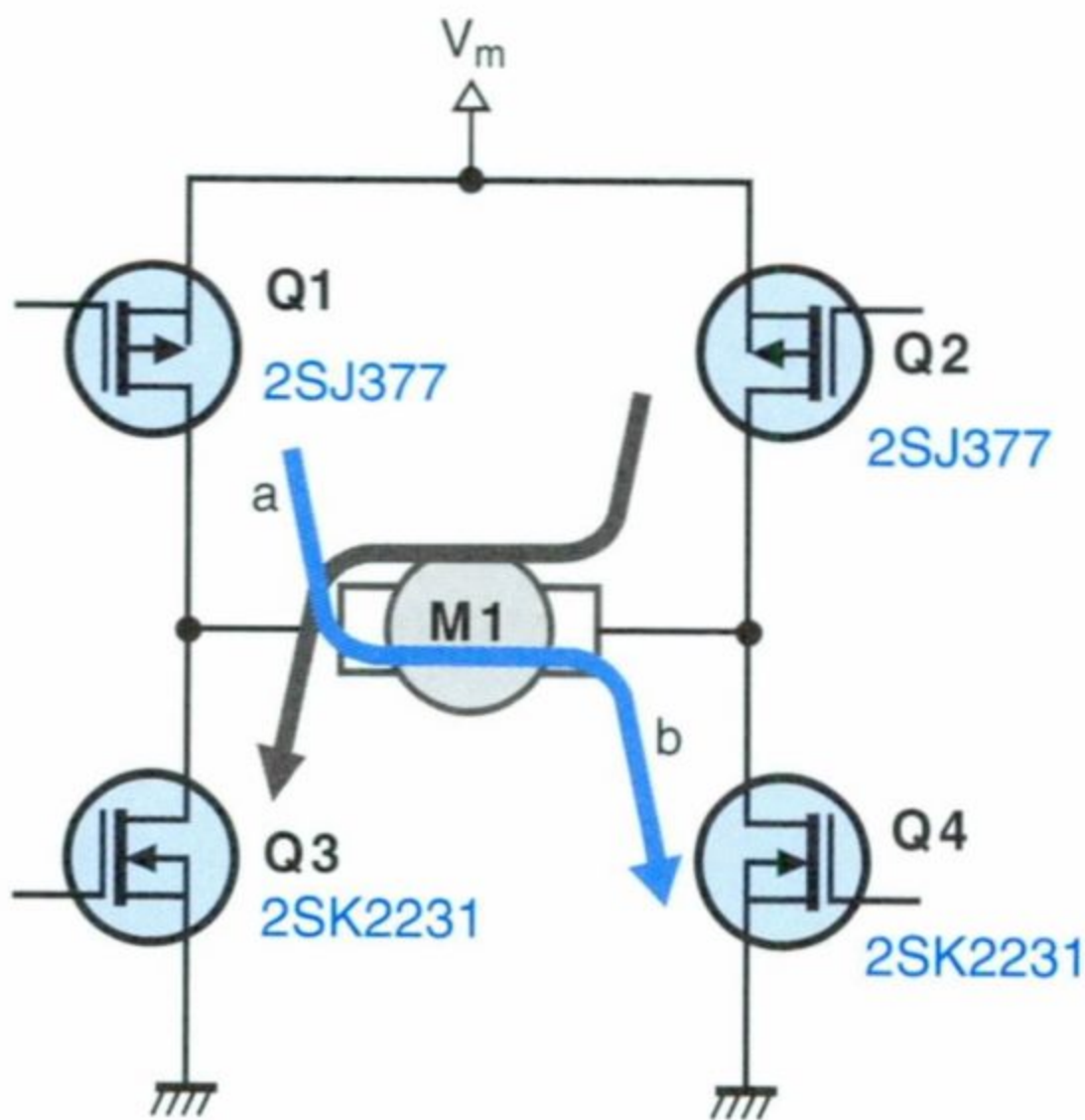
基本回路は図2.6.7のようにPチャネル型とNチャネル型のMOSトランジスタをペアで接続し、図のように2つの対角上のMOSトランジスタをONとすることで「aの電流」と、「bの電流」の2方向を制御することができます。すると当然DCモータには2方向の電流が流れるわけで、回転方向がこれによって切り替わることになります。さらにQ3とQ4を両方ONとするとモータをショートすることになり、回転中のモータにブレーキをかけることになります。

ここでMOSトランジスタを使うと、ON抵抗を非常に小さくできますので、モータへの電源供給を非常に効率よくできます。さらにトランジスタ自体の発熱も

減らすことができるので好都合となります。

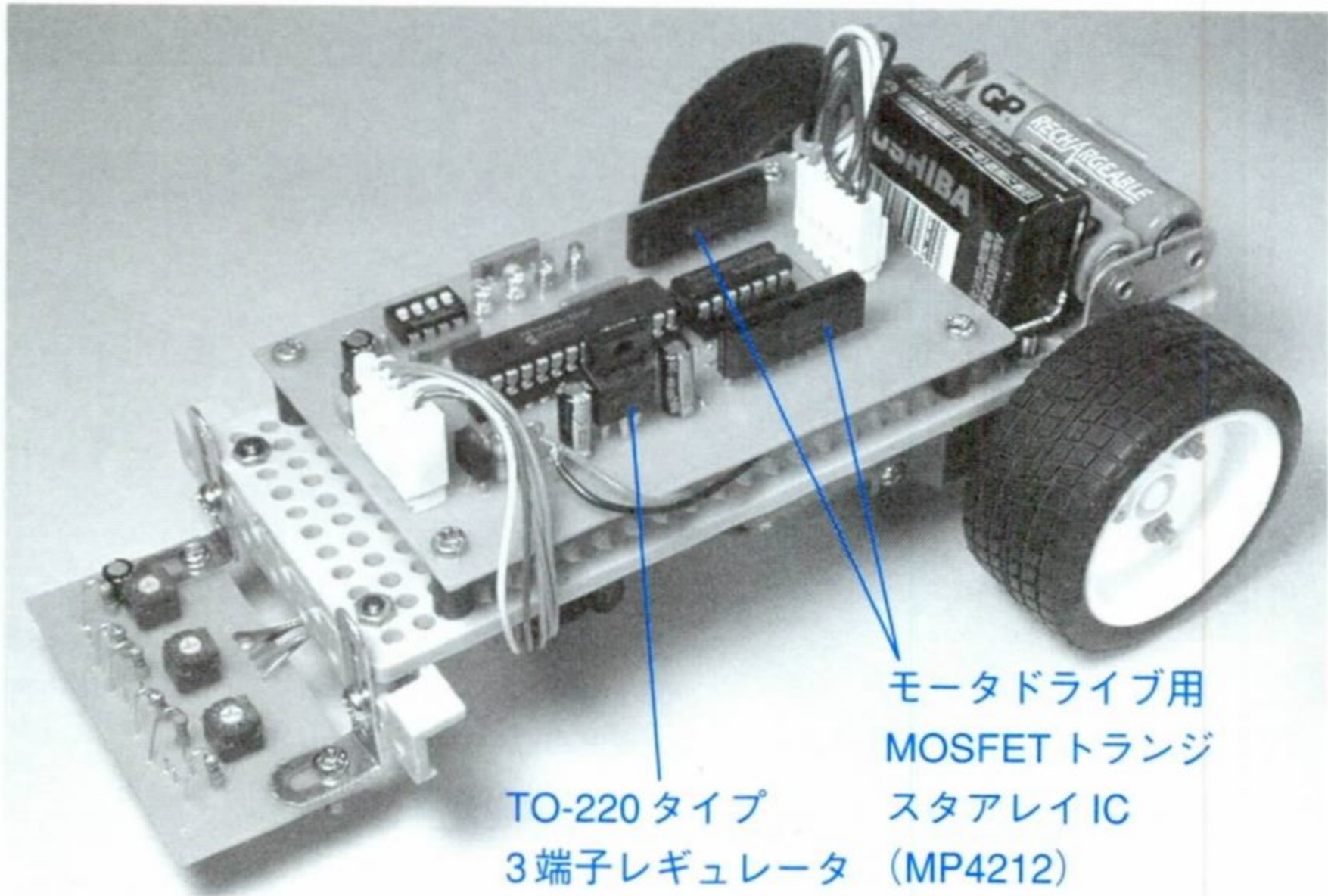
参考

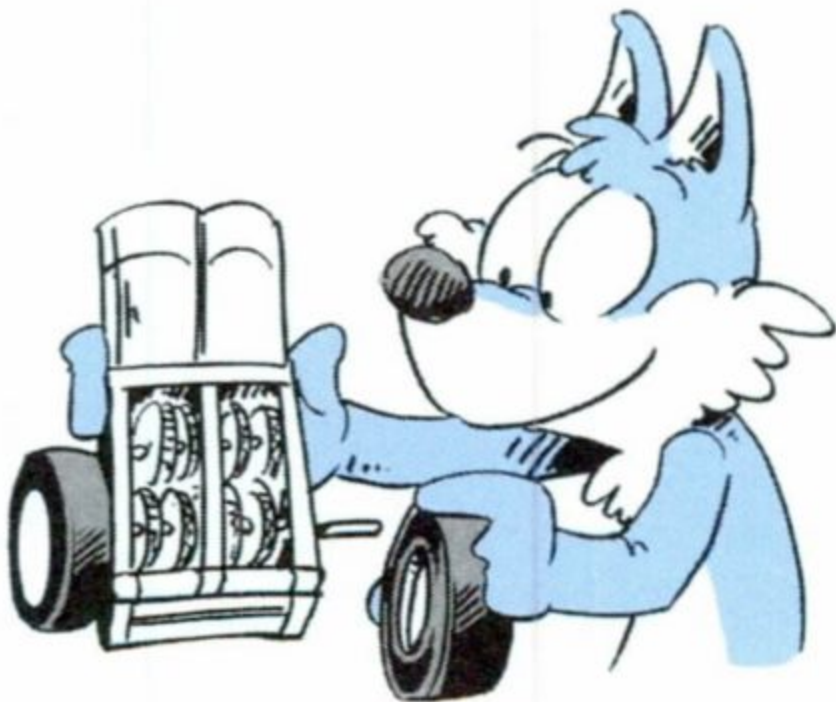
Hブリッジの動作を見ておきましょう。表を見てください。
"Q1、Q4"がオン、"Q2、Q3"がオフで正転（逆転）、"Q2、Q3"がオン、"Q1、Q4"がオフで逆転（正転）します。

Vm
Q1 2SJ377
Q2 2SJ377
Q3 2SK2231
Q4 2SK2231
M1
a
b

フルブリッジ回路の動作モード

Q1	Q2	Q3	Q4	モータ制御
OFF	OFF	OFF	OFF	停止
ON	OFF	OFF	ON	正転（逆転）
OFF	ON	ON	OFF	逆転（正転）
OFF	OFF	ON	ON	ブレーキ

◆図2.6.7 Hブリッジの原理

写真2.6.8がペアMOSFETトランジスタアレイを実際に使った例で、ライントレースロボットの2個のモータの可変速制御をしています。

◆写真2.6.8 MOSFETトランジスタアレイを使用したライントレーサ

1
2
3
4
5

2-7 デジタルIC

用語解説

・ゲート回路
AND、OR、NOTなどの基本的な論理回路。

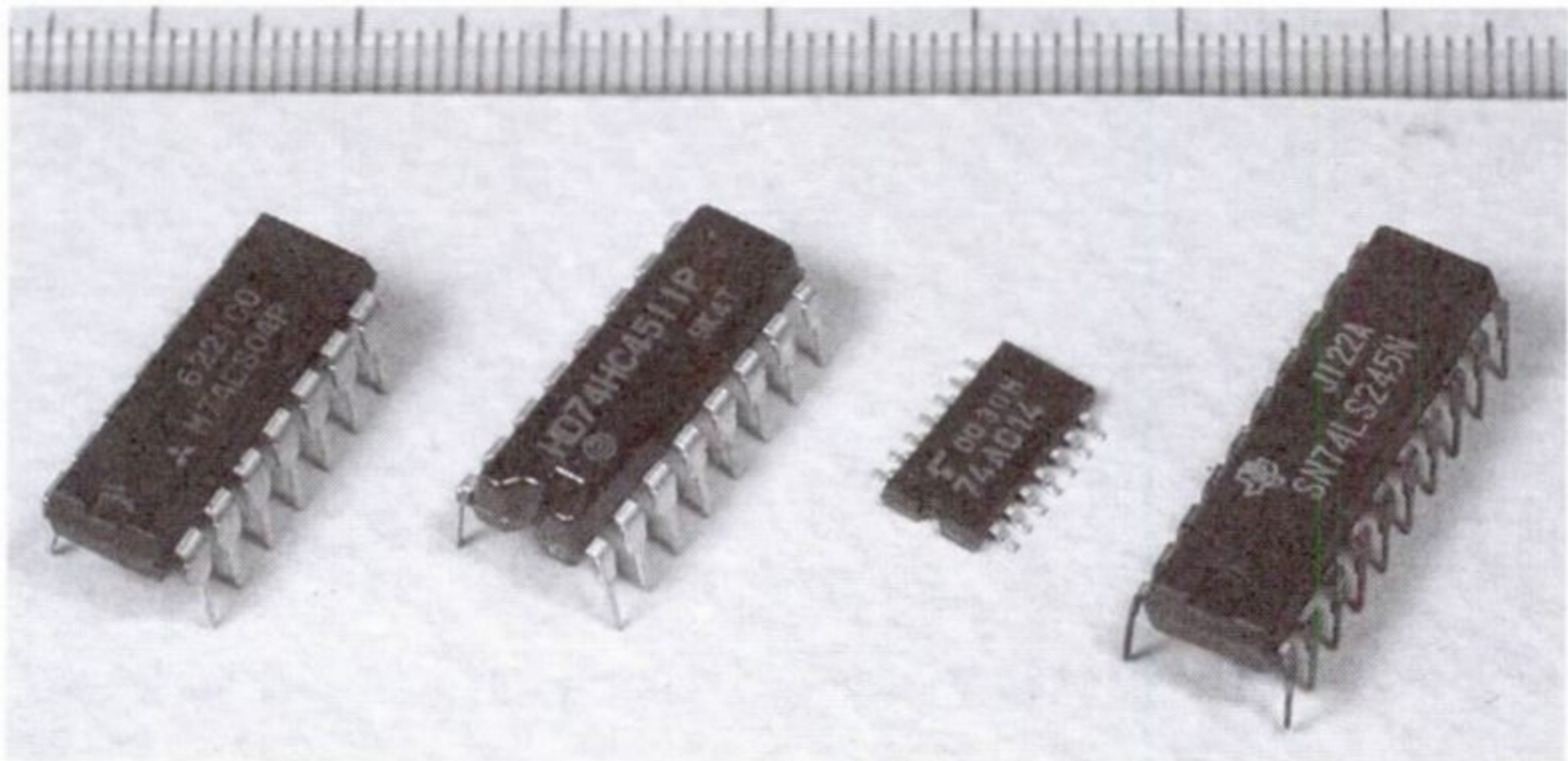
・フリップフロップ
記憶という機能をもった回路。2つの安定状態を持ち、どちらかが“0”または“1”として出力される。入力にあらかじめ決めておいた変化があったとき、出力は変化するが、それ以外は変化せず前の状態を保持し続ける。

・フィールドプログラマブルIC
製造後に内部論理回路を定義・変更できる集積回路。

デジタルICはいわゆる論理回路を組むための集積回路（IC）ですが、基本は**ゲート**と**フリップフロップ**からできています。当初は基本構成のICでいろいろな機能を実現していたのですが、最近では集積度が高くなり、多くのゲートやフリップフロップを1つのICの中に組み込んで、非常に高機能のLSIが開発されています。マイクロコンピュータもこのデジタルICを基本として作られています。

私たちの工作では、デジタルICの基本であるANDやNAND（ナンド）ゲートのICも使いますが、最近では専用LSIにより非常に高度な機能を容易に組み上げることが可能になっています。これらの専用LSIは日々新しいものが開発されていますので、常に新しい情報の入手を怠らないようにしましょう。

さらに最近では、ICそのものをプログラマブルにして、自分で好きな回路をIC内部に作ってしまうことができるようになりました。これが**フィールドプログラマブルIC**と言われるもので、PLD、CPLD、FPGAとか呼ばれています。写真2.7.1が汎用デジタルICの代表的なものです。

（PLD：Programmable Logic Device）
（CPLD：Complex Programmable Logic Device）
（FPGA：Field Programmable Gate Array）

◆写真2.7.1　デジタルIC

2-7-1 ゲート

デジタルICの基本は「**ゲート**」と呼ばれる論理機能素子です。デジタルというのですから、電気的には「0」（0ボルト）と「1」（電源電圧値）しかなく、これを論理値とすることから**論理回路**と呼ばれています。

ゲートには、AND、OR、NOTを始めとしていくつかの種類があります。いずれもいわゆる論理演算なのですが、特徴的なのは、NOTが一緒に組み込まれたNANDやNOR（ノア）があることです。それらの回路図記号と機能の一覧を表2.7.1に示します。

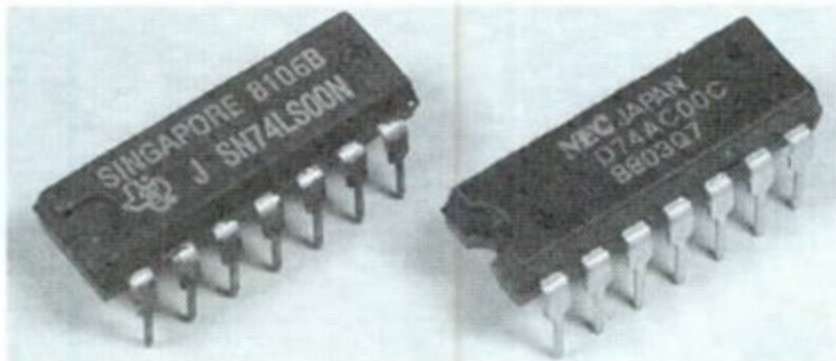
アドバイス

・真理値表の見方

NANDの真理値表を見てください。入力A、B、出力Yです。

A：0、B：0
→Y：1
A：1、B：0
→Y：1
A：0、B：1
→Y：1
A：1、B：1
→Y：0

◆表2.7.1 ゲートの回路図記号と機能

回路図記号	名称	論理値	真理値表		
			A	B	Y
A Y	NOT (Inverter)	$Y=\overline{A}$	0	—	1
			1	—	0
A B Y	AND	Y＝A&B	0	0	0
			1	0	0
			0	1	0
			1	1	1
A B Y	OR	Y＝A＋B	0	0	0
			1	0	1
			0	1	1
			1	1	1
A B Y	NAND	$Y=\overline{A\&B}$	0	0	1
			1	0	1
			0	1	1
			1	1	0
A B Y	NOR	$Y=\overline{A+B}$	0	0	1
			1	0	0
			0	1	0
			1	1	0

◆写真2.7.2 NANDゲート

ここで表に示した真理値表とは、入力の各論理値の組み合わせに対して、出力の論理値がどう変わるかを表現したもので、複雑なICの動きも入出力をこの真理値表で表すことで動作機能の表現が可能となります。

ゲート回路で考慮しておかなければならないことは、ICの動作速度です。ゲートのICにも動作速度というものがあり、これがいろいろな機能ICの最大速度の限界を決めるもとになっています。この速度がどれくらいかというと、およそ数nsecから10nsecなのですが、ICのシリーズによって速度が変わります。

デジタルICは、テキサスインスツルメンツ社（TI社と略す）のICがデファクトスタンダードとなっています。TI社の最新の5V標準ロジックシリーズとその性能は、表2.7.2のようになっています。

◆表2.7.2 TI社のシリーズ一覧（5V標準ロジック）

種別	シリーズ名	電源電圧	動作速度	ドライブ能力	消費電流
TTL	ASシリーズ	4.5V～5.5V	4ns	64mA	54mA
	Fシリーズ		4ns		90mA
	ALSシリーズ		7ns		27mA
	LSシリーズ	4.75V～5.25V	12ns	24mA	54mA
	Sシリーズ		6ns		180mA
CMOS	ABTシリーズ	4.5V～5.5V	2.5ns	64mA	0.3mA
	BCTシリーズ		4ns	64mA	10mA
	AHCシリーズ	2.0V～5.5V	5ns	8mA	40μA
	ACシリーズ	2.0V～6.0V	5ns	24mA	
	HCシリーズ		14ns	8mA	80μA

これによれば、私たちが一般に使う電源電圧が5Vの製品ではABTシリーズが最速で2.5nsec（ナノ秒）となっています。これはどういう意味かというと、入力に信号が加えられた瞬間から、それが出力に現れるまでの時間が2.5nsecということです。つまりこれだけの時間の遅れが生じることになります。遅れといっても数nsecですから、私たちが電子工作で扱う時間はせいぜい10MHz（100nsec）の世界ですから全く問題ありません。しかし、最新のマイクロコンピュータなど100MHz以上で動作するものを扱う世界では、かなり意識しなければならない時間となります。

シリーズ中で私たちが電子工作で扱いやすいのは、HC、ACシリーズです。これだと消費電力も少なく、動作電源電圧も広い範囲で使えます。動作速度は大体HCシリーズが15nsec、ACシリーズが5nsec程度と考えればよいでしょう。

ただし実際の回路での遅れは、IC自身の遅れに、負荷を接続したときの容量成分による遅れが加わるので注意が必要です。大雑把に考えれば、HCシリーズの場合、この遅れを加えて約20nsecから25nsecがゲート一段当たりの遅れと考えてよいでしょう。

2-7-2 TTLとCMOSの違い

デジタルICは、表2.7.2のように、トランジスタと同様その内部構造の違いから「TTL」と「CMOS」に大別されます。TTLは内部の回路が主として従来のバイポーラのトランジスタで構成されたものです。CMOSはその名のとおりMOS型FETを中心にして作られたものです。しかしデジタルICとしての機能は全く同じになっていて、名称もサフィックス番号は下記のように同じになっています。CMOSの場合には、多くが名称に「C」の文字が含まれているので区別することができます。

用語解説
・TTL
〔読み：ティーティーエル〕
バイポーラのトランジスタで構成されたもの。
・CMOS
〔読み：シーモス〕
MOS型FETを中心にして作られたもの。

	TTL	CMOS
NAND	74LS00	74HC00
D-FF	74LS74	74HC74

機能的には全く同じですが、電源消費電流が大幅に異なることと、入出力のインターフェースが異なっているので注意が必要で、場合によってはそのまま混在させて使うと、同じ5Vで動作させても正常に動作しないこともあります。TTLとCMOSの違いは主に下記のような項目です。

■入力オープンによる動作の違い

常識

CMOSの場合は、入力オープンにはしないこと。
グランドか電源いずれかに必ず接続すること。

TTLでは入力オープンは、論理「1」に相当しますが、CMOSの場合には、容量成分の影響で不定となります。またCMOSの場合にはオープンのままだとICが壊れる可能性があるため入力オープンは禁止されていますので、グランドか電源いずれかに必ず接続する必要があります。ただしTTLの場合でも、ノイズにより誤動作する危険があるため入力オープンは避けるようにします。

■入出力電圧の違い

TTLとCMOSそれぞれの入出力ピンの電圧規定値は図2.7.1のようになっています。これでわかるように、TTL、CMOSいずれの場合にも出力電圧は入力スレッショルド電圧よりも余裕のある電圧が出力されるようになっていて、ノイズマージンとなっています。またCMOSの方が、ノイズマージンが大きくなっていることがわかります。特に論理「0」側が大幅に改善されていることが分かります。

ところでこれらの条件でTTLとCMOSを混在させて使ったらどうなるのでしょうか。スレッショルドの条件だけで見ると、図からわかるように、TTL出力にCMOS入力を接続した場合、TTLの「1」側出力電圧が低めのものがあると、最悪の条件で論理が不定になる可能性があることがわかります。したがって、混在させて使う場合、あるいはTTL基板とCMOS基板を接続するような場合には、TTLからCMOSへ出力するときに危険であることがわかります。

◆図2.7.1 TTLとCMOSの入出力電圧

2-7-3 デジタルICの規格表の見方

デジタルICも半導体でできているので、やはり使用条件には制限があります。ここでも絶対最大定格と電気的特性が出てきますが、デジタル回路素子ではこれ以外に「**スイッチング特性**」という規格が別にあります。

常識

絶対最大定格の範囲内で使用すること。

■絶対最大定格

これ以上の条件で使うとICが壊れるという条件を規定したものです。やはり電圧、電流、温度の3要素で規定されていて、私たちがここで注意しなければならないのは、表2.7.3の項目です。

◆表2.7.3 最大定格

項目	略号	名称	内容
電圧	V_{CC}	電源電圧	V_{CC}ピンに加えてよい最大電圧。大部分が7Vとなっている。
電流	I_O	出力電流	1ピンあたりに流せる最大電流。 HCシリーズの場合には25mAとなっている。 これ以外に、パッケージ当たりの電流も制限されていて、 V_{CC}電流として規定されているので、ピンの合計の電流がこれを超えないようにする必要がある。

■電気的特性

推奨動作条件の範囲で動作させているときの、入出力ピンの電圧、電流の特性を記述しています。ここでは出力電圧と電流の関係を意識する必要があります。これがドライブできる次段の入力の個数（**ファンアウト**という）を決めるからです。もっとも、シリーズによって標準値が決まっているので、いちいち気にする必要はなく、HCシリーズでは接続できる個数は最大20個と習慣的に決まっているので、これを守れば問題なく動作します。

用語解説

・ファンアウト
ドライブできる次段の入力の個数。

・クロック
デジタル回路の動作を制御するペースメーカとなる信号のこと。

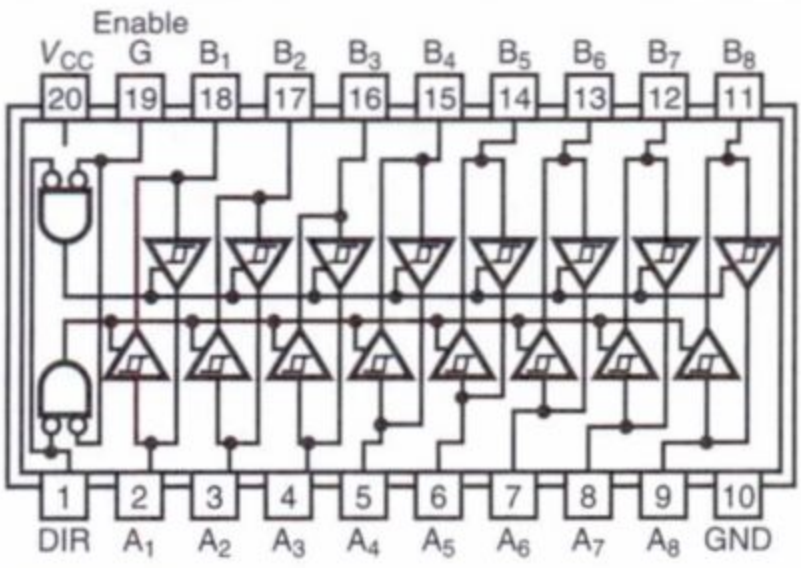
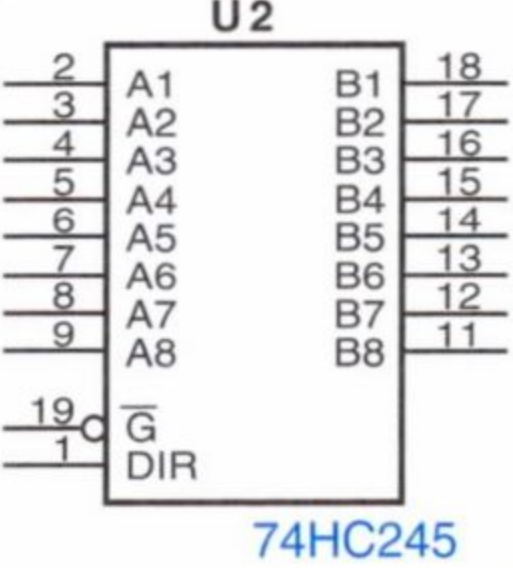
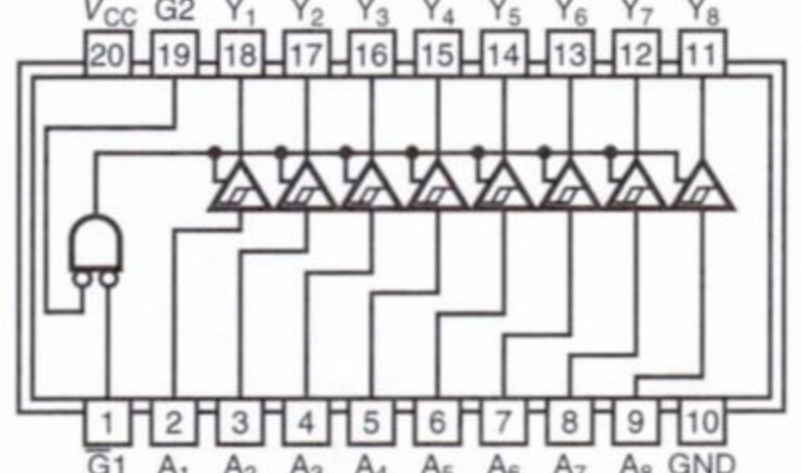
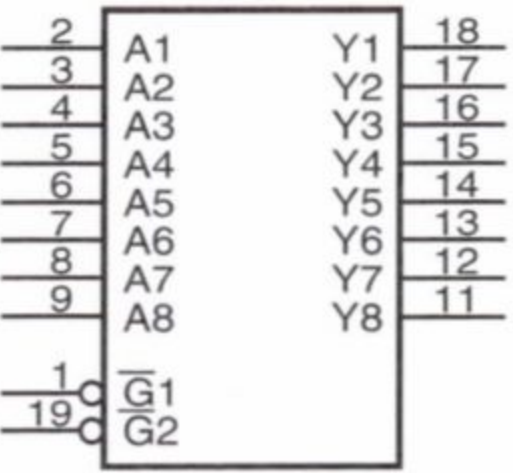
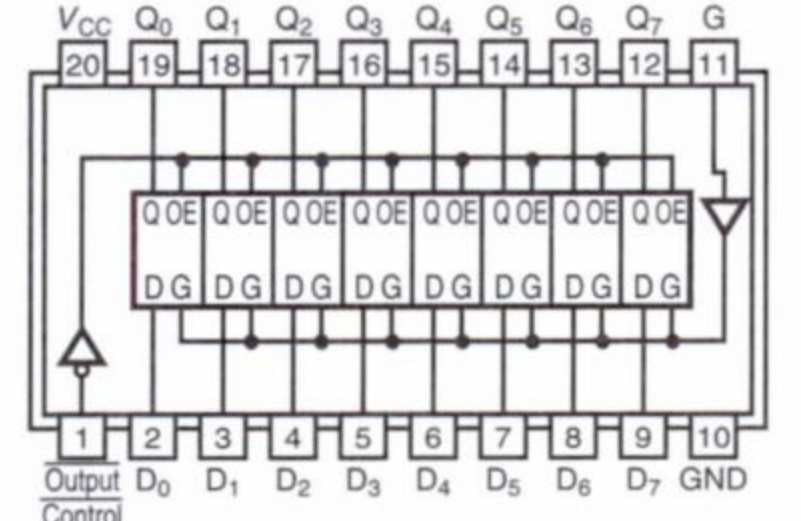
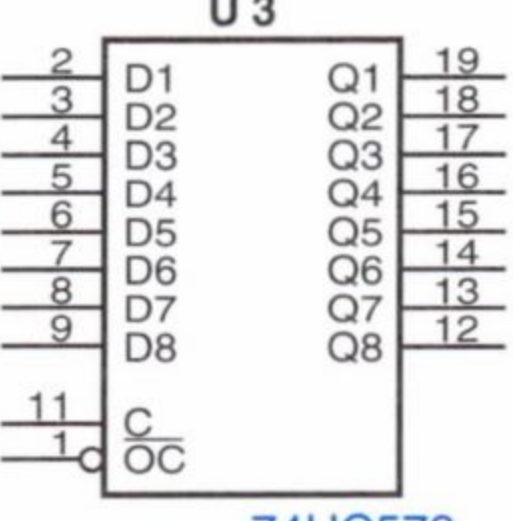
■スイッチング特性

どんなICでも必ず入力に対して出力は遅れて出てきます。しかしデジタルICの場合、特に遅れ時間を意識することが多く、特別にこれらの動作時間や、遅れ時間をスイッチング特性として規格表にしています。この中では、立上り、立下り各々の伝播遅延時間を意識すればよいでしょう。これらはICの内部回路の複雑さによって大きく異なりますので、ICごとに異なっています。このICの遅れ時間によって、クロックの最大速度が規定され、全体の回路の性能が制限されます。

この遅れ時間が問題になるのは、クロックの立上りが始まるまでに、信号が揃うかということが問題になる場合です。つまり、シフトレジスタやカウンタなどを組み込んだ回路で、それらの出力が次の段に進む速さが、次のクロックの立ち上がりまでに間に合うかというような場合です。

2-7-4 デジタルICの種類

常識

電源ピンとグランドピンも統一されているため、回路図ではしばしばこれらが省略されることが多い。接続を忘れないよう注意すること。

デジタルICは今ではデュアルインラインやフラットパッケージと呼ばれる形にすべて統一されています。パッケージの中に複数の回路素子が内蔵されているものもあり、ピン番号で区別されています。また**電源ピンとグランドピンも統一されているため、回路図ではしばしばこれらが省略されることが多い**ので、**接続を忘れないよう注意**が必要です。

私たちが電子工作でよく使う代表的なデジタルICのパッケージ内容と機能の概略を表2.7.4(a)、(b)に示します。この他にも非常に多くの種類のデジタルICがあり、自分が欲しい機能のICを探すことで、ぐんと設計が楽になる場合もあります。

◆表2.7.4(a) 代表的なデジタルICのパッケージ内容

名称	パッケージ内容	回路図記号	機能概要
SN74HC00	VCC 4B 4A 4Y 3B 3A 3Y (14–8) 1A 1B 1Y 2A 2B 2Y GND (1–7)	U1A 1, 2, 3 74HC00	**Quad 2 Input NAND** 2入力NANDが4個実装されている。
SN74HC04	VCC 6A 6Y 5A 5Y 4A 4Y (14–8) 1A 1Y 2A 2Y 3A 3Y GND (1–7)	U2A 1, 2 74HC04	**Hex Inverters** インバータが6個実装されている。
SN74HC74	VCC 2CLR 2D 2CK 2PR 2Q 2Q̄ (14–8) 1CLR 1D 1CK 1PR 1Q 1Q̄ GND (1–7)	U2A 2 D, 3 CLK, 4 PRE, 1 CLR, 5 Q, 6 Q̄ 74HC74	**Dual DFFs with Preset and Clear** Dフリップフロップが2個実装されている。
SN74HC138	Data Outputs VCC Y0 Y1 Y2 Y3 Y4 Y5 Y6 (16–9) A B C G2A G2B G1 Y7 GND (1–8) Select / Enable / Output	U1 1 A, 2 B, 3 C, 6 G1, 4 G2A, 5 G2B Y0 15, Y1 14, Y2 13, Y3 12, Y4 11, Y5 10, Y6 9, Y7 7 74HC138	**3 to 8 Demultiplexer** 3ビットバイナリを8ラインに分離する。
SN74HC244	VCC 2G 1V1 2A4 1V2 2A3 1V3 2A2 1V4 2A1 (20–11) 1G 1A1 2V4 1A2 2V3 1A3 2V2 1A4 2V1 GND (1–10)	U4 2 1A1, 4 1A2, 6 1A3, 8 1A4, 11 2A1, 13 2A2, 15 2A3, 17 2A4 1Y1 18, 1Y2 16, 1Y3 14, 1Y4 12, 2Y1 9, 2Y2 7, 2Y3 5, 2Y4 3 1 1G, 19 2G 74HC244	**Octal 3-state Bus Buffers** 3ステートのバスバッファが8個実装されている。 8ビットデータバスのドライバ用。

◆表2.7.4(b)　代表的なデジタルICのパッケージ内容

名称	パッケージ内容	回路図記号	機能概要
SN74HC245	Enable V_{CC} G B_1 B_2 B_3 B_4 B_5 B_6 B_7 B_8 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 DIR A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 A_7 A_8 GND	U2 2 A1 B1 18 3 A2 B2 17 4 A3 B3 16 5 A4 B4 15 6 A5 B5 14 7 A6 B6 13 8 A7 B7 12 9 A8 B8 11 19 $\overline{G}$ 1 DIR 74HC245	**Octal 3-state Bus Transceivers** 3ステートのトランシーバが8個実装されている。 8ビットデータバスのパーティライン接続用。
SN74HC541	V_{CC} $\overline{G}2$ Y_1 Y_2 Y_3 Y_4 Y_5 Y_6 Y_7 Y_8 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 $\overline{G}1$ A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 A_7 A_8 GND	U3 2 A1 Y1 18 3 A2 Y2 17 4 A3 Y3 16 5 A4 Y4 15 6 A5 Y5 14 7 A6 Y6 13 8 A7 Y7 12 9 A8 Y8 11 1 $\overline{G}1$ 19 $\overline{G}2$ 74HC541	**Octal 3-state Buffers** 3ステートのバスバッファが8個実装されている。 入出力接続が単純に1対1になっている。
SN74HC573	V_{CC} Q_0 Q_1 Q_2 Q_3 Q_4 Q_5 Q_6 Q_7 G 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 Q OE / D G (×8) 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 $\overline{\text{Output Control}}$ D_0 D_1 D_2 D_3 D_4 D_5 D_6 D_7 GND	U3 2 D1 Q1 19 3 D2 Q2 18 4 D3 Q3 17 5 D4 Q4 16 6 D5 Q5 15 7 D6 Q6 14 8 D7 Q7 13 9 D8 Q8 12 11 C 1 $\overline{OC}$ 74HC573	**Octal 3-state D-Latches** 3ステート出力のDフリップフロップが8個実装されている。 8ビットデータバスのデータ保持用。

2-7-5 パッケージの寸法と実装方法

これらの各ICはピン数が標準化されており、それによって外形寸法も標準化されています。

デュアルインライン型の寸法を簡単にいうと、ピン間は全て0.1インチで、横幅がスリム28ピンまでは0.3インチで、24ピンから42ピンまでは0.6インチとなっています。

デュアルインライン以外のパッケージも何種類かありますが、私たちが工作に使うのは大部分デュアルインライン型です。実装もこの寸法に従って穴をあけ実装します。穴あけやプリントパターンなどは、EDAツールが標準で持っており、それに従って配置すれば問題ないようになっています。

参照
・EDAツール→p.191

またデュアルインライン以外で代表的なのはフラットパッケージタイプです。フラットパッケージの場合にも寸法は標準化されており、プリント基板用のパターンも標準化されています。EDAツールを使えばこれもあらかじめ用意されているパターンをそのまま使えば問題なくできるようになっています。

用語解説
・**フラットパッケージ**
表面実装タイプのもの。

■実装時に注意すること

デジタルICのプリント基板等への実装で私たちが注意しなければならないことは次のようなことです。

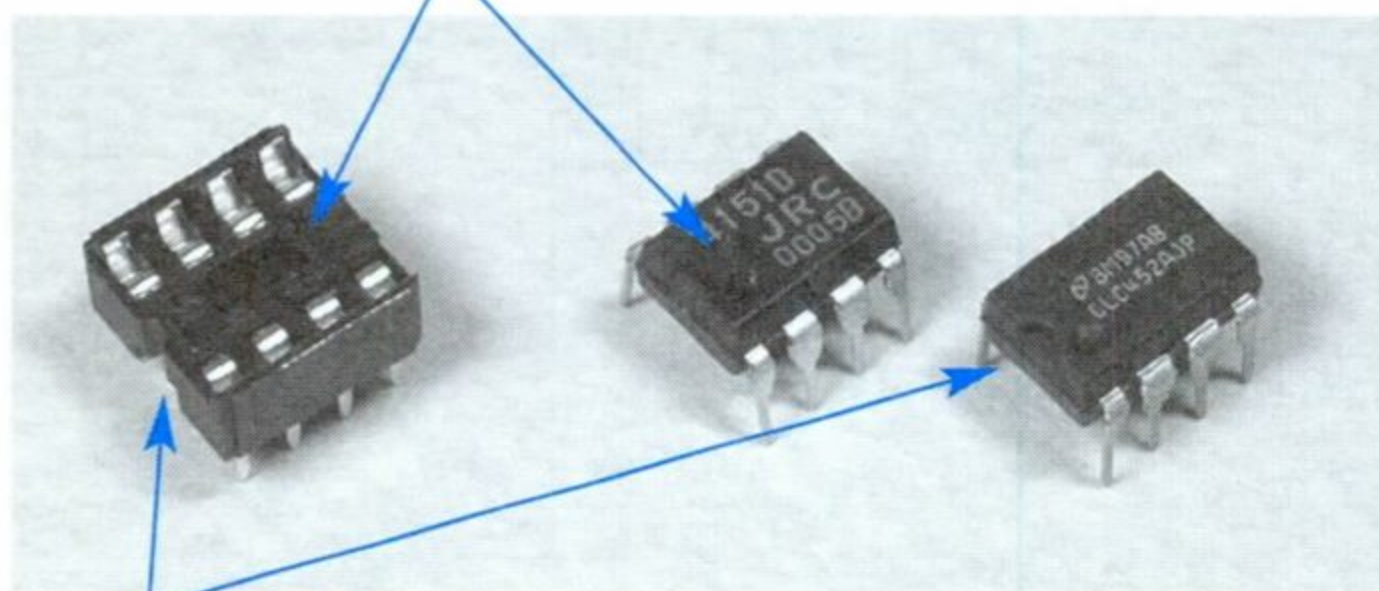
① ICは直接はんだ付けせず、ICソケットを使う

私たちの電子工作では、実際の取り付けにはICソケットを使います。これは誤って電圧をかけて壊したりしないよう、確認してからICをソケットに実装するという目的以外に、別の作品に同じICを使いまわすためにも必要です。

ICソケットにICを実装するときには、逆向きに挿入しないよう気をつけます（ICの向きに注意）。ICの端面の円弧状のくぼみをICソケットのくぼみと合わせるようにして実装します。

常識

ICソケットには切り欠き（印）がつけてあります（ICの向きを合わせるためのもの）。基板にICソケットを取り付ける際、向きに注意して取り付けます。

ICの1ピンのマークを、ICソケットの切り欠き側にして挿入する

切り欠き部の方向を合わせて挿入する

◆写真2.7.3 ICソケットの切り欠き

常識

ICの近くに必ずパスコンを実装すること。

② ICの近くに必ずパスコンを実装する

電源やグランドを安定にし、誤動作をなくすために必ず**パスコン**を実装しましょう。0.01～0.1 μF程度のセラミックコンデンサか積層セラミックコンデンサが適当で、高周波特性のよいものにします。

参照

・パスコン → p.25
・ファンアウト → p.93

③ クロック信号のファンアウトに注意

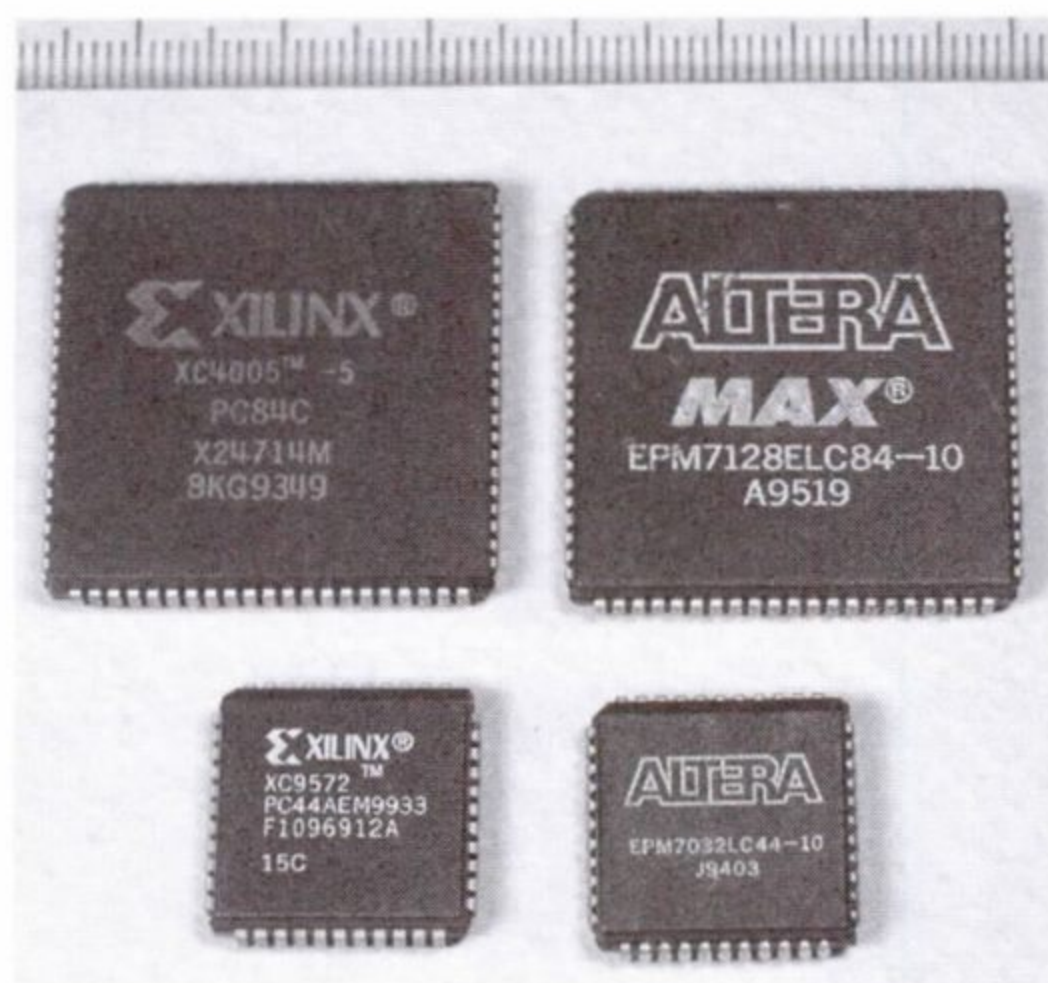
クロック信号は多くのICに配られて同期回路を構成します。したがって1つの信号から配られるのでファンアウトが不足しないようにいくつかのICで中継して配るようにします。

2-7-6 プログラマブルIC

用語解説

・プログラマブルIC
プログラミングすることができるICのこと（外部から書き込むことで自由に回路を構成できるようにしたIC）。

デジタルICで、内部に回路構成用メモリを内蔵し、外部から書き込むことで自由に回路を構成できるようにしたICがあります。一般にプログラマブルロジックと呼ばれているもので、**CPLD**（Complex Programmable Logic Device）とか**FPGA**（Field Programmable Gate Array）と呼ばれているものです。

これは内部構成用メモリにデータを書き込むことにより、ICの機能そのものを創ることができるICで、これまでのようにゲートやカウンタなどのICを数多く使って構成してきた回路を、1個のCPLDやFPGAで実現できてしまうため電子工作も非常に高度な機能を実現することが可能になってきています。写真2.7.4がこのようなCPLDの実例です。

◆写真2.7.4　CPLDの例

最近では、ゲート数で百個から数万個まで内蔵するFPGAがあり、任意の高機能な機能素子として自由に作ることができます。

実際に実装する中身の設計には2つの方法があります。ひとつは従来と同様、回路図を描いてそれから自動ツールで書き込みデータを生成する方法です。もうひとつは、現在では主流の設計方法になっている**HDL言語**を使う方法です。

このHDL言語を使えば、巨大な回路もすっきりしたプログラムのように書くことができ、テストもシミュレータで行うことができるので、実際のものを作る前にシミュレーションでかなりのテストが可能となります。

私たちアマチュアでも、このHDL言語を使ってCPLDを開発するための環境を簡単にそろえることができるようになりました。これからのデジタル回路の設計はHDL言語で行うようになっていくようになると思います。

よく使われているHDL言語にはVHDLという言語とVerilog-HDLという言語の2種類がありますが、いずれを使っても同じことができます。

図2.7.2が実際のVHDL言語の例で、10進カウンタを作成したものです。

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.std_logic_unsigned.all;

entity count10 is
        port (
                CLK,RESET: in std_logic;
                CYIN     : in std_logic;
                Q        : out std_logic_vector(3 downto 0);
                CYOUT    : out std_logic
        );

end;

architecture RTL of count10 is
signal TQ : std_logic_vector(3 downto 0);
begin
        process (CLK,RESET,CYIN) begin
                if (RESET = '1') then
                        TQ <= "0000";
                elsif (CLK'event and CLK = '1' and CYIN='1') then
                        if (TQ = "1001") then
                                TQ <= "0000";
```

```
                        else
                                TQ <= TQ + '1';
                        end if;
                end if;
        end process;
--
        process (TQ,CYIN) begin
                if (TQ = "1001" and CYIN = '1') then
                        CYOUT <= '1';
                else
                        CYOUT <= '0';
                end if;
        end process;
--
        Q <= TQ;
end RTL;
```

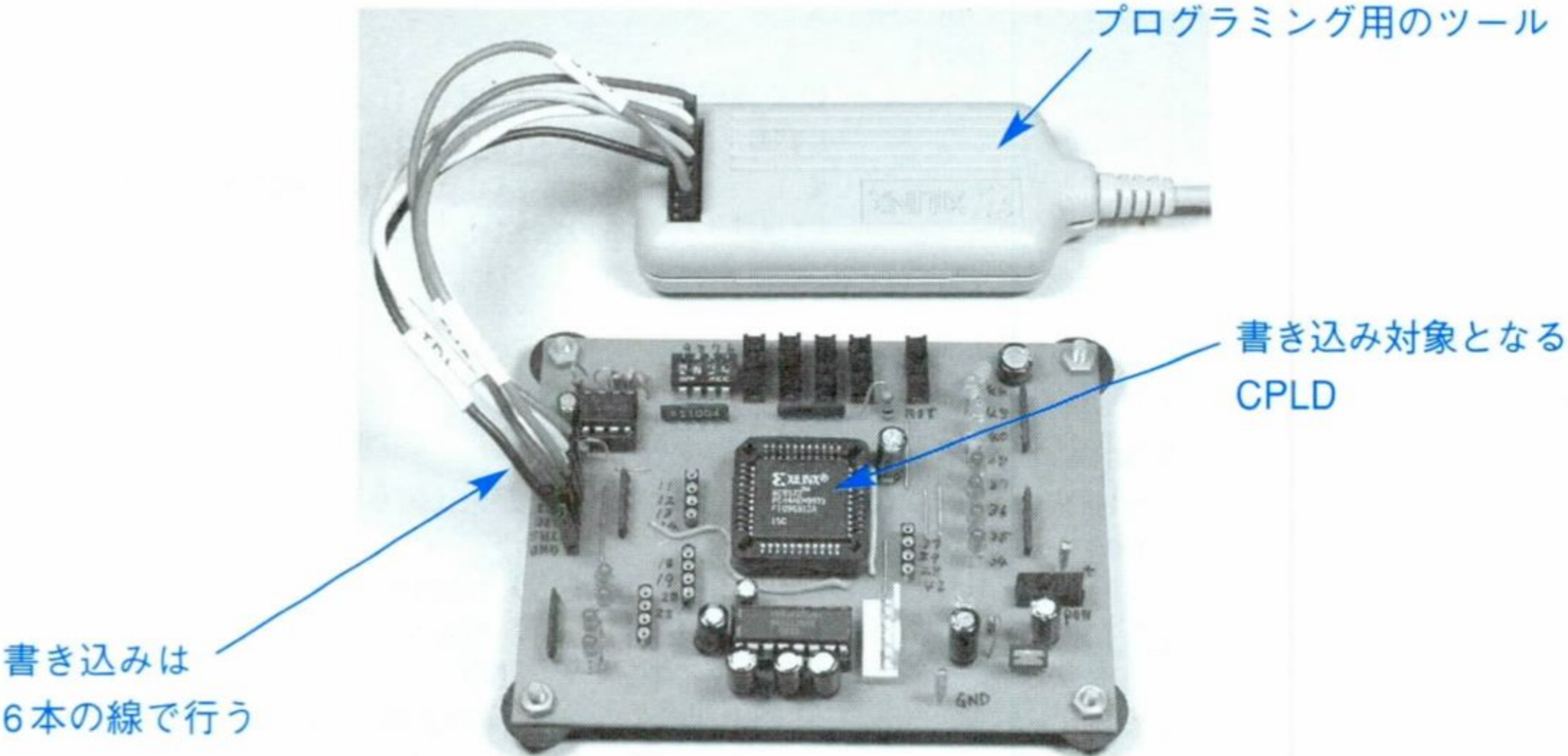
◆図2.7.2 VHDLの例

このCPLDを作るために必要な開発ツールで、私たちが無料で使えるものは、表2.7.5のようなものがあります。いずれもCPLDメーカの日本語のウェブサイトからインターネット経由でダウンロードできます。プログラムサイズが大きいのでダウンロードに時間がかかりますが、それ以上に自分たち自身で開発ができる環境が整えられるメリットには変えがたいものがあります。

どちらのメーカのCPLDも容易に入手できますので、いずれを使ってもよいでしょう。

◆表2.7.5 CPLD開発ツール

メーカ名	ツールの名称
ザイリンクス社	ISE WebPACK
アルテラ社	Quartus Web Edition ソフトウェア

製作手順は、まず上記ツールでHDL言語で記述し、シミュレーションでデバッグしたあと、できあがったオブジェクトファイルをCPLD本体に書き込みます。この書き込みには写真2.7.5のような専用のツールが用意されています。書き込みが完了すればすぐ実際の動作を開始します。

◆写真2.7.5 CPLDへのプログラムの書き込み

2-8 光関連半導体部品

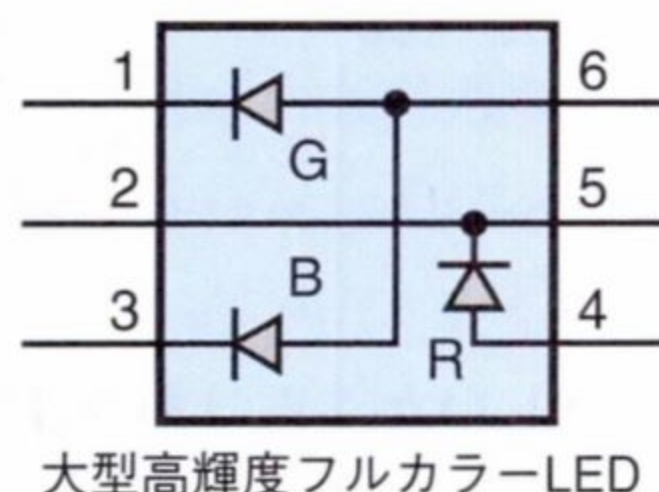
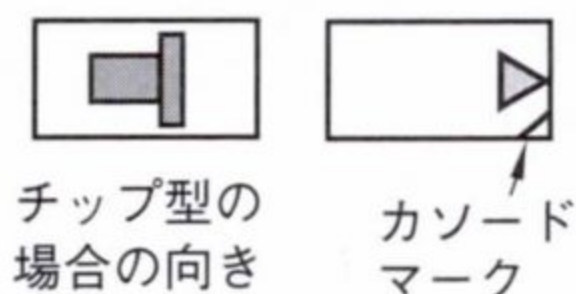
光と半導体とのかかわりはたくさんあります。それは、エネルギーの授受が両者の間で直接可能だからです。つまり、半導体接合部を通る電子のエネルギーで光が放出されることで発光ダイオードが生まれ、逆に、半導体接合部に光を当てることで流れる電流を制御するのがフォトダイオードです。これらの原理を応用した電子部品をまとめてみました。

2-8-1 発光ダイオード

用語解説

・LED
〔読み：エルイーディー〕
発光ダイオードのこと。

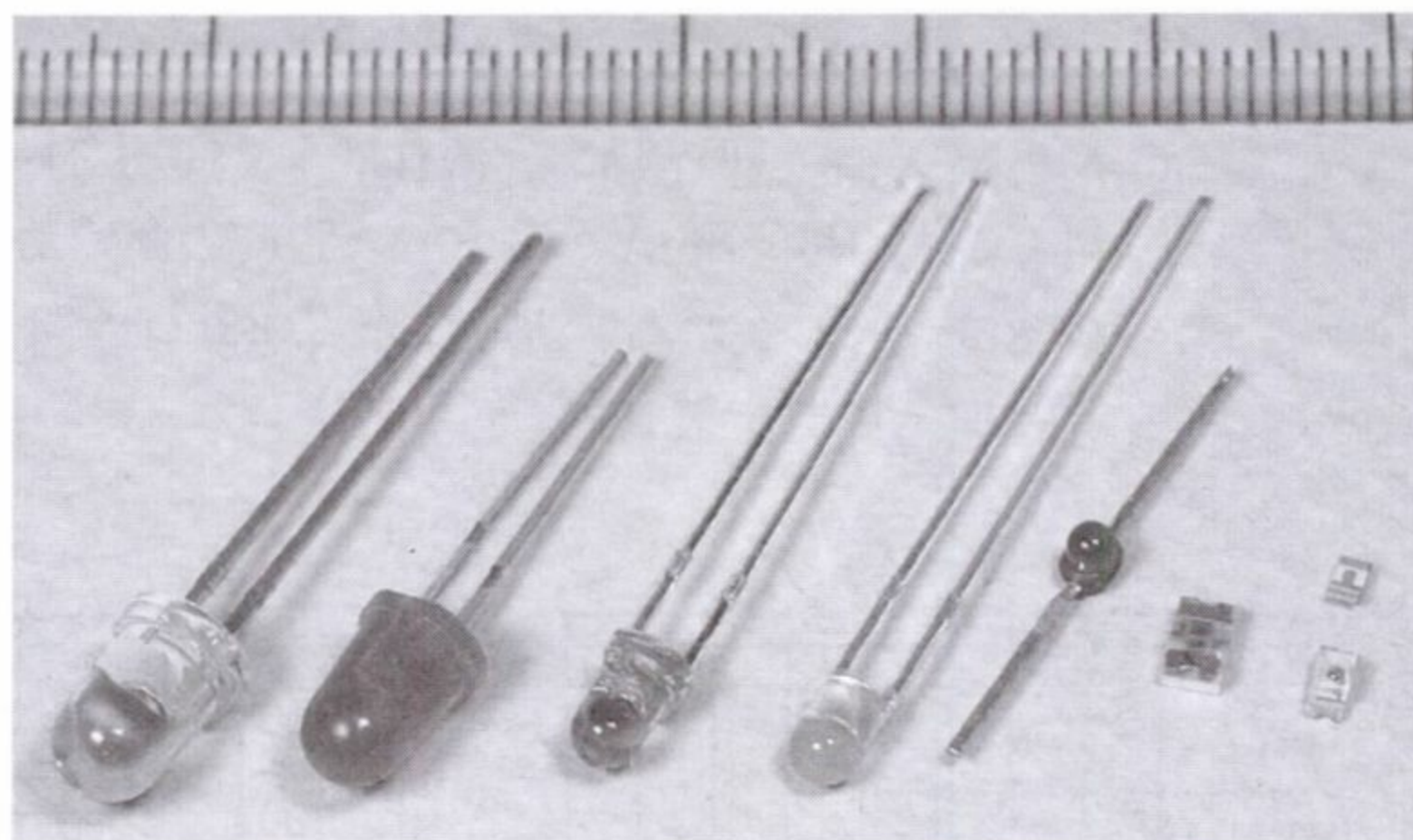
常識

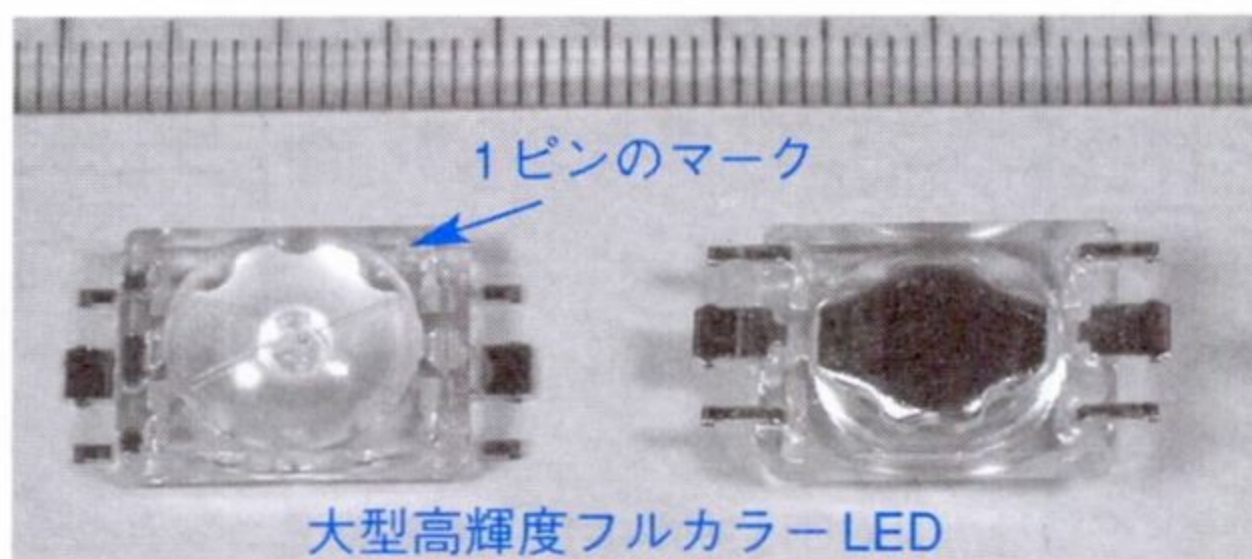
発光ダイオードには極性があります。取り付ける際には向きに注意してください。
リード線の長い方がプラス電源側（アノード側）です。

pn接合に順方向電流が流れるとき、半導体に特定の不純物が混入していると、不純物の種類によって特定の波長の光が放出されます。これを効率よく発生するようにしたダイオードが**発光ダイオード**（**LED**）です。発色の種類は、赤、緑、黄、と最近、青が開発され、光の3原色ができたため、フルカラーの画像表示にも使われるようになりました。写真2.8.1は代表的な発光ダイオードの例です。サイズには写真のようにチップ型を含め多くの種類があります。中には写真下側のような大型で強力に光る大型高輝度フルカラーLEDや、内部に制御回路も一体化して自動で点滅したり色を変えたりする機能を内蔵した発光ダイオードもあります。

足の長い方が
アノード
カソード

+ −
（アノード）（カソード）

チップ型の
場合の向き
カソード
マーク

1 6
2 5
3 4
G B R
大型高輝度フルカラーLED

5φタイプ　3φタイプ　表面実装タイプ　チップ型

1ピンのマーク
大型高輝度フルカラーLED

◆写真2.8.1　発光ダイオードの例

回路図記号は表2.8.1を使います。類似の記号が何種類かありますが、イメージで理解できると思います。

◆表2.8.1 発光ダイオードの回路図記号

回路図記号	略号	名称	特徴
LED5 red / D8 LED	LED (Light Emitting Diode)	発光ダイオード	赤、緑、黄、青があり、これ以外に白もある。電流を流す量に比例して明るく光る。

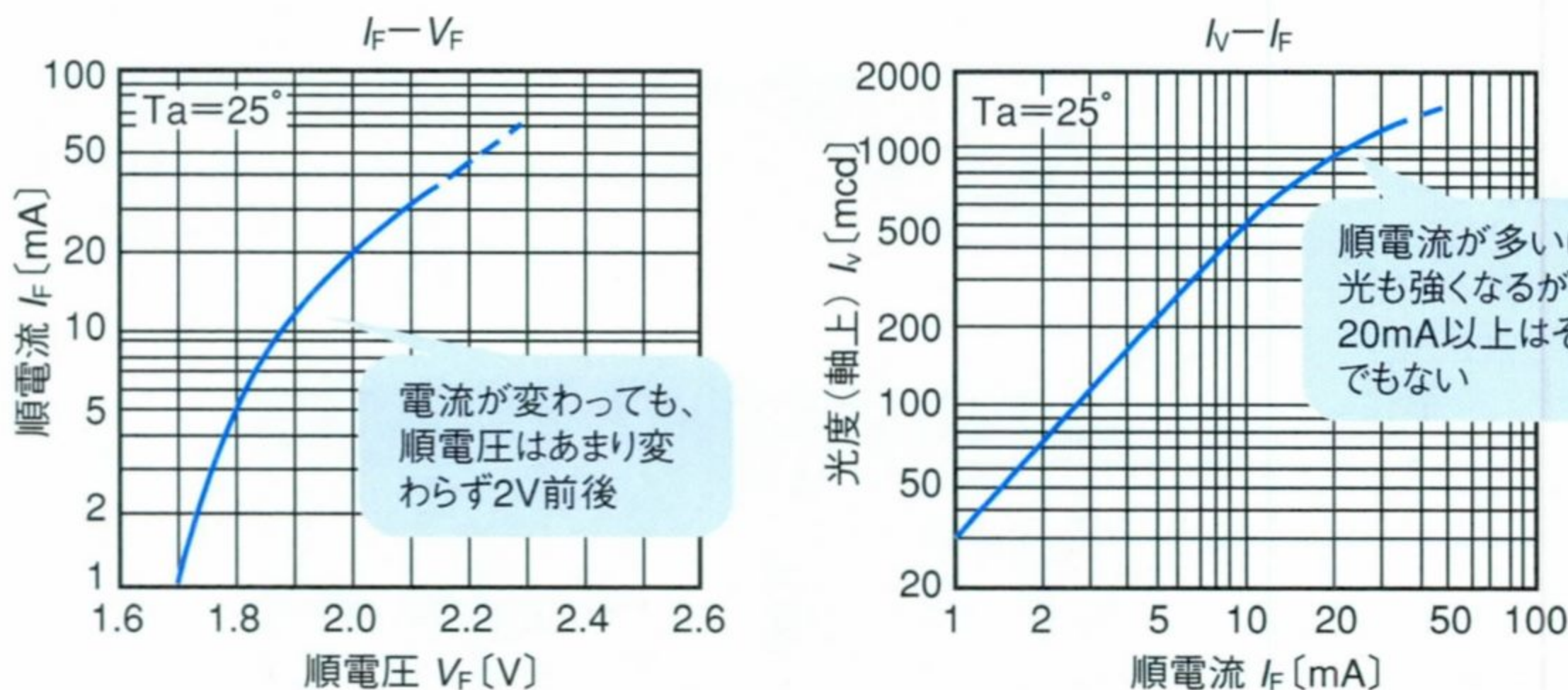
この発光ダイオードの電流と光の関係は図2.8.1のようになっています。右側の図からわかるように電流が多いほど発光する強度も強くなりますが、20mA以上はあまり変わりません。通常は100mcd程度の光度があれば十分見えますので、数mA程度の電流を流せば十分です。このときの順電圧は、左側のグラフからわかるように、2V前後で電流が変わっても大きくは変わりません。そこで、5Vの電源で発光ダイオードを5mAで点灯させるときの電流制限用の抵抗値は、下記で求まります。

用語解説
・cd
〔読み：カンデラ〕
光度。明るさを表す単位。mcd（ミリカンデラ）。

R＝（5V－2V）／5mA＝600Ω

E24系列の抵抗から選ぶと560Ωということになります。この抵抗での消費電力は

3V×5mA＝15mW

ですから、1／8W以上であれば全く問題ないことになります。さらに、抵抗値の値そのものは、3mAから10mA程度の間であれば、目視での明るさにあまり大きな差はないことから、330Ωから680Ωの間であれば適当なもので大丈夫ということになります。

◆図2.8.1 発光ダイオードの特性（TLOU113P(F)）（東芝セミコンタクター社：データシートより）

発光ダイオードの取り付けは、極性さえ注意すれば特に難しいところはありません（実装時には極性に注意）。リード線の長い方がプラス電源側、つまりアノー

ド側です。

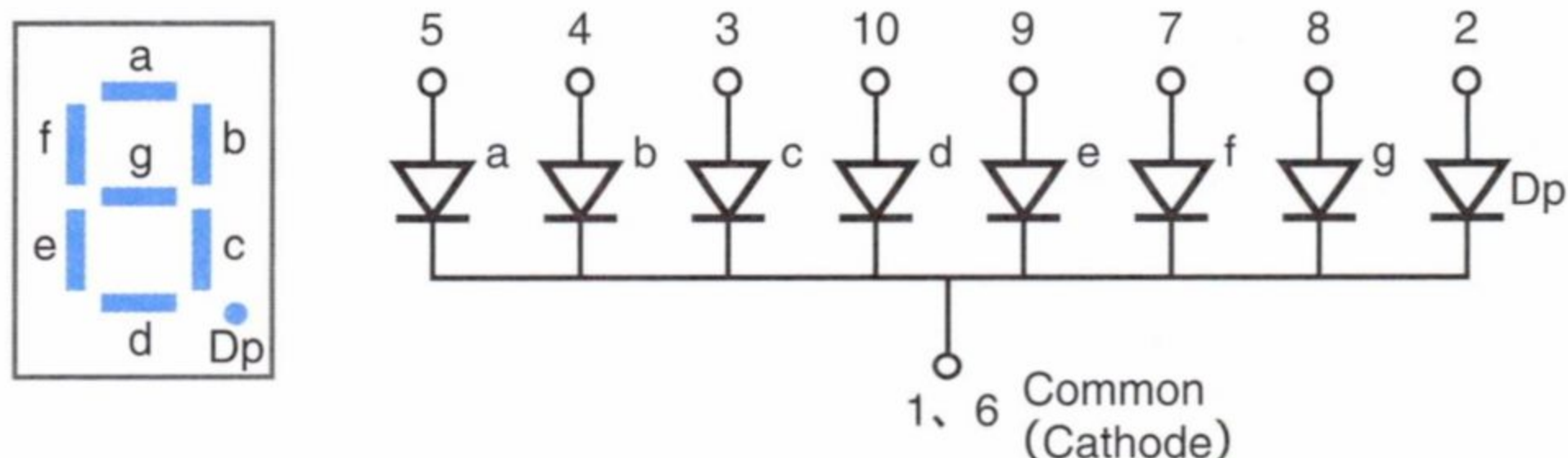
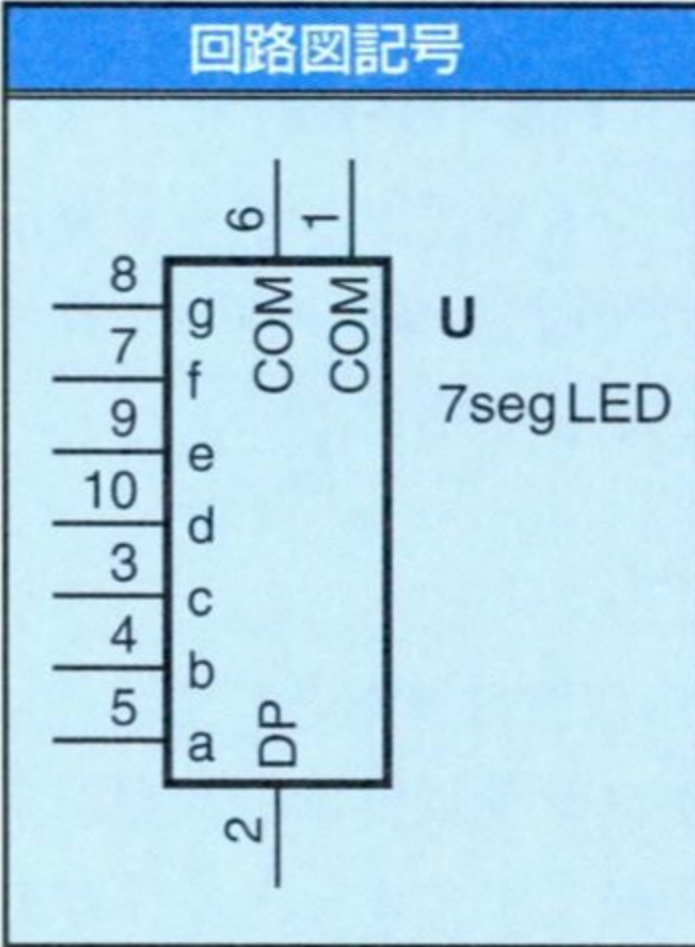
2-8-2 セグメント発光ダイオード表示器

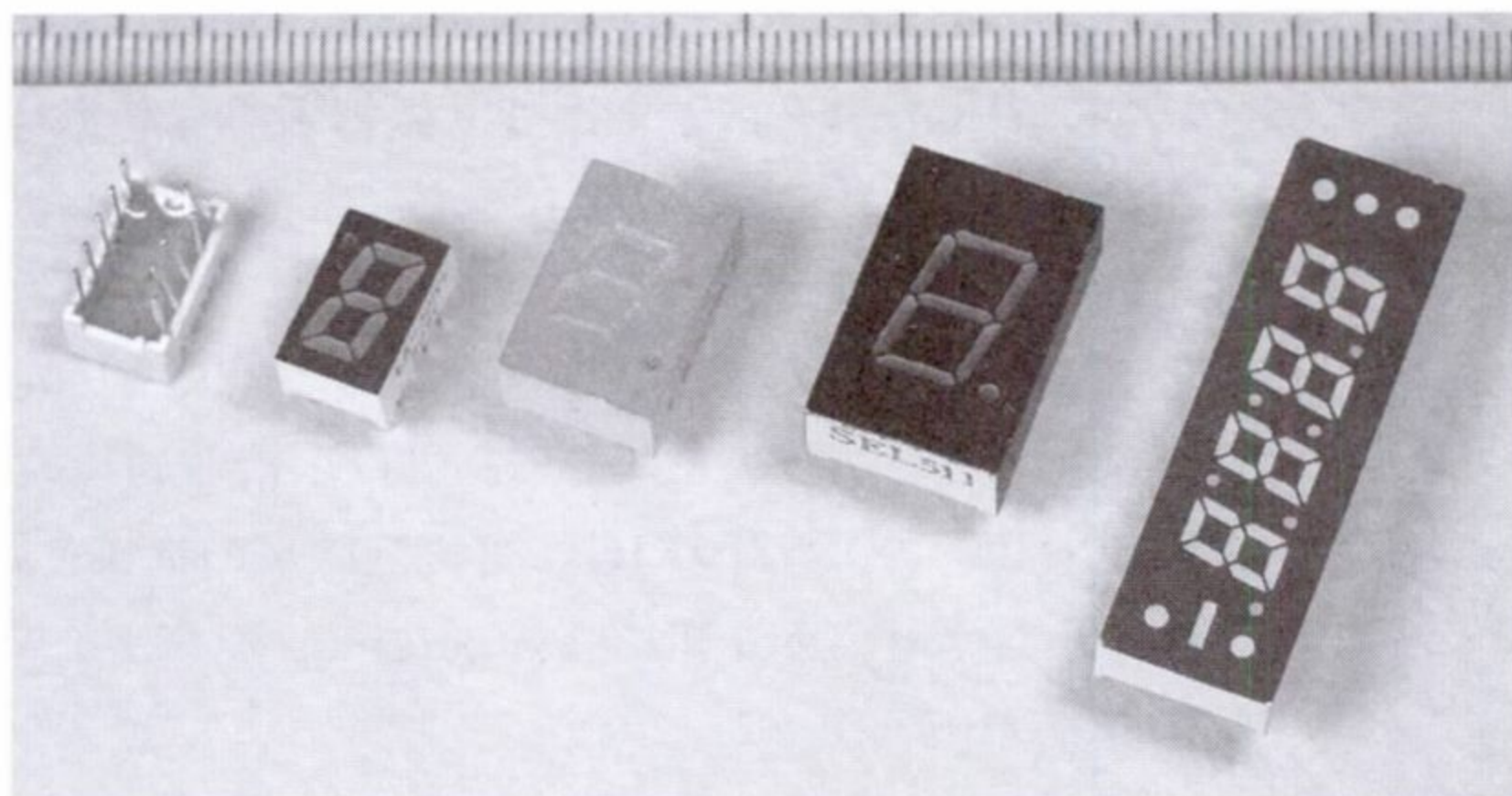
数字を表示する素子としてセグメント発光ダイオード表示器があります。この素子は発光ダイオードをaからgまでの7個のセグメントにまとめ、セグメントの光らせ方で数字を表示するようにしたものです。

■内部構成と外観

aからgまでの各セグメントの表示位置は標準として共通に決められていて、図2.8.2のようになっています。7セグメント以外に小数点が余分にあります。内部構成は図のように、各セグメントの発光ダイオードの片方を一緒にまとめて接続していますが、まとめるときに発光ダイオードのカソード側をまとめるか、アノード側をまとめるかによってカソードコモンとアノードコモンの大きく2種類のものがあります。図はカソードコモンの例です。

参考

Dp＝小数点

◆図2.8.2　セグメント発光ダイオードの内部構成

セグメント発光ダイオードには、形や色、大きさによって非常に多くの種類があります。写真2.8.2は代表的なものの外観で、複数桁の数字と小数点、符号などを一体化したものもあります。また回路図記号は表2.8.2のように表現します。

◆写真2.8.2　セグメント発光ダイオードの例

◆表2.8.2　セグメント表示器の回路図記号

回路図記号	略号	特徴他
8 7 9 10 3 4 5 g f e d c b a DP COM COM 6 1 2 U 7seg LED	特に決まった記号はなく、慣習的にSEGとかLEDとかとしている。	色と大きさには多くの種類がある。

■制御方法

図2.8.2で、a～gまでの各発光ダイオードの適当なものだけを光らせると数字が表示できるようになっています。例えば「2」を表示するには「a、b、g、e、d」に相当する発光ダイオードを点灯すればよいのです。これを実際に点灯させるためには、common端子にマイナスを接続し、必要なセグメントの端子に抵抗を通してプラスの電圧をかけて、各セグメント当たり10mA程度の電流を流すと点灯します。図2.8.2は**カソードコモン**というタイプですが、アノードコモンというタイプもあり、この場合にはコモン側がプラスと逆になります。コモン端子には点灯セグメントの合計の電流が流れるので、最大7倍（少数点があるときは8倍）となります。

■ダイナミック点灯制御

セグメント発光ダイオードの点灯制御は、1個だけすなわち1桁の数字だけの表示であれば、7個の各セグメントをドライブするICに1対1に直接接続して制御すればよいのですからことは簡単です。問題になるのは多桁の表示をするときです。全ての桁のセグメントを独立に制御するとすれば、ドライブするICの出力ピンが全部で桁数×7個も必要になってしまい、とんでもない数のICが必要になり、実用的ではありません。

そこで工夫されたのが、**ダイナミック点灯制御**という方式です。ダイナミック点灯制御では、7セグメントの制御は全桁並列接続して共通にして1桁分と同じ7本の出力ピンのドライバICに電流制限用の抵抗を経由して接続します。そしてどの桁を点灯させるかを桁ごとのcommonのドライブ用ICの切り替えを行うことで制御します。

これをもう少し詳しく説明すると、図2.8.3のタイムチャートのように、commonの入出力ピンで短時間の間一つの桁を光らせたら、いったん全消去して、すぐ次の桁を光らせるということを高速で繰り返します。もちろん各桁に表示するのはその桁に表示するべき数字です。

用語解説

・common端子
コモン端子。共通の端子という意味。

・アノードコモン
アノード側（プラスの電圧を加える端子）が共通になっているもの。

・カソードコモン
カソード側が共通になっているもの。

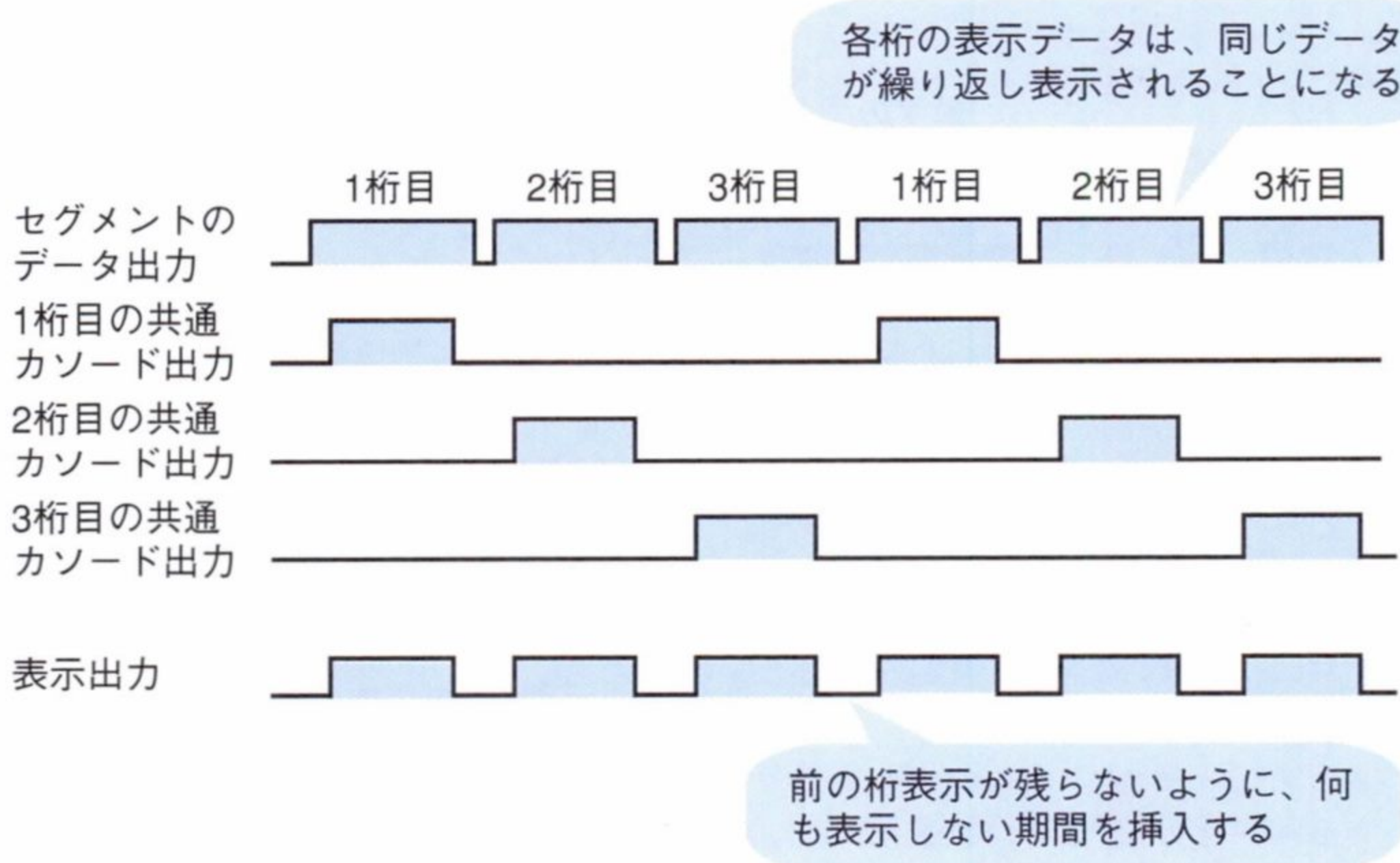
常識

多桁のセグメント発光ダイオードを表示させるには、ダイナミック点灯方式を利用する。

アドバイス

残像現象を利用したもので、1桁ずつ表示、消去を繰り返しても、あたかも連続して表示しているように見せかけることができます。こうすることで制御が簡単になります。

たとえば3桁の表示器に「356」と表示させるとします。まず「3」を表示、全消去→「5」を表示、全消去→「6」を表示、全消去→「3」を表示、全消去・・・を高速で繰り返し、表示させます。

これで、消去した後も残像現象で、光を連続して見ているように錯覚します。

◆図2.8.3 ダイナミック点灯制御のタイムチャート

こうするとある瞬間では1個の桁だけが点灯していることになりますが、人間の目には残像現象があり、一度光を見ると光が消えた後も約100msec程度その光を連続して見ているように錯覚します。そこで、点灯の繰り返しを残像現象よりはるかに高速に、数10msec以下の速さで繰り返すと、あたかも連続して各桁が点灯しているように見えてしまいます。これがダイナミック点灯制御の原理です。

制御のノウハウは、ひとつは繰り返しの周期で、これが長すぎると表示がちらつくので短めの周期とします。数msecから数10msecが一般的です。またもうひとつのノウハウは、桁ごとの間に短時間ですが、どの桁も表示しない時間を挿入することです。こうすることにより、表示部分と制御部分が離れているようなとき、ケーブルでの信号の遅れにより、前の桁が次の桁に一瞬表示されてしまって表示がちらつくということを避けることができます。

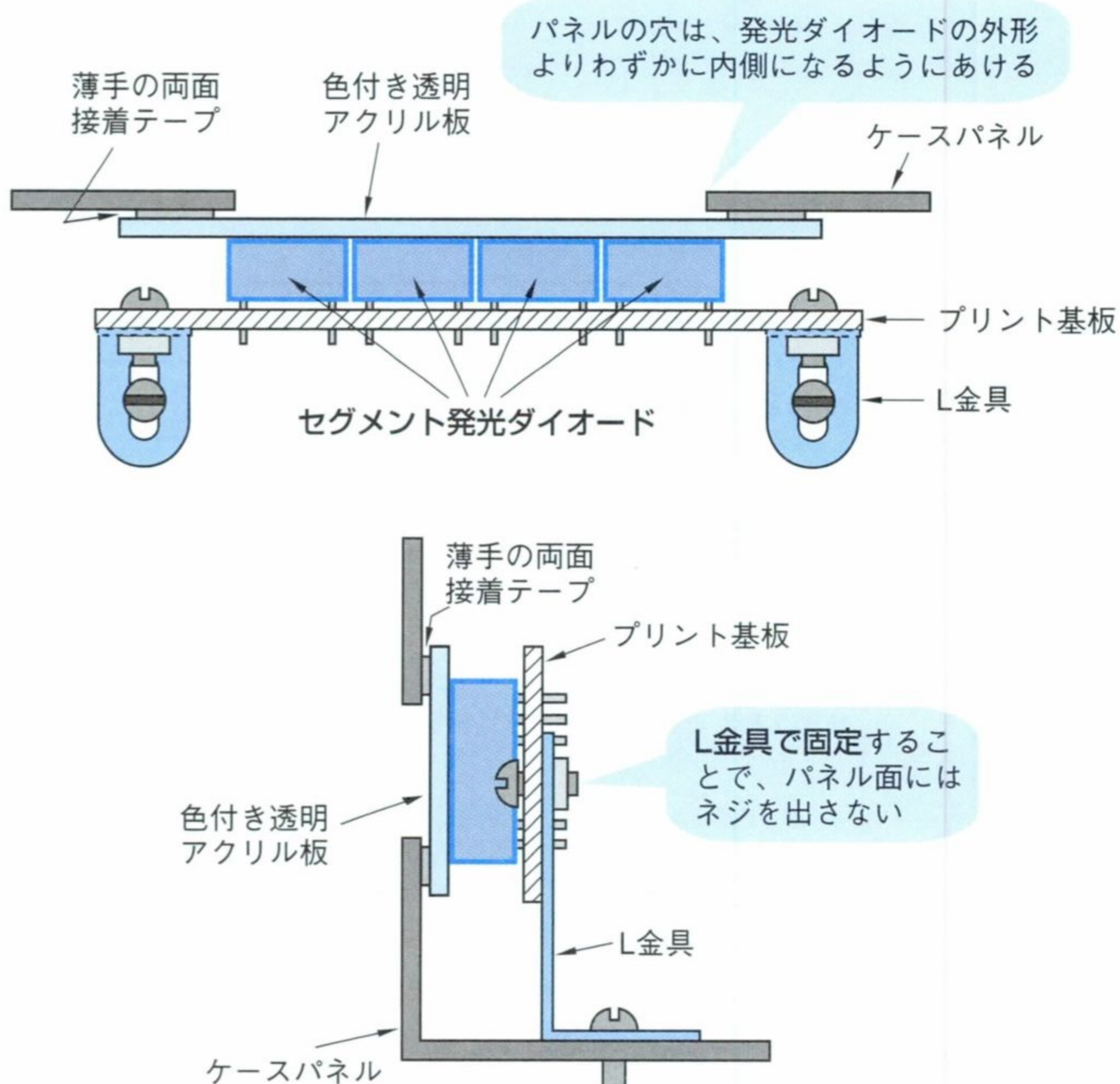
また各桁の実表示時間が短くなるため、表示の明るさがその分暗くなってしまいます。そこで発光ダイオードに流す電流を多めにします。パルスで電流を流す場合には許容電流も大きくできるので、40～50mA程度まで流すことができます。しかしコモンにはこれらの合計値が流れますから、全体の電流容量を考えながら電流値を決めます。

■実装方法

セグメント発光ダイオード表示器の大きさは多くの種類があるので、実装寸法などはデータシートを参考にして設計していきます。あとはこれをパネルに実装するときの組み立て方ですが、一例を図2.8.4に示します。この方法ではパネル表面にはネジが見えず、きれいなパネル面に仕上げることができます。

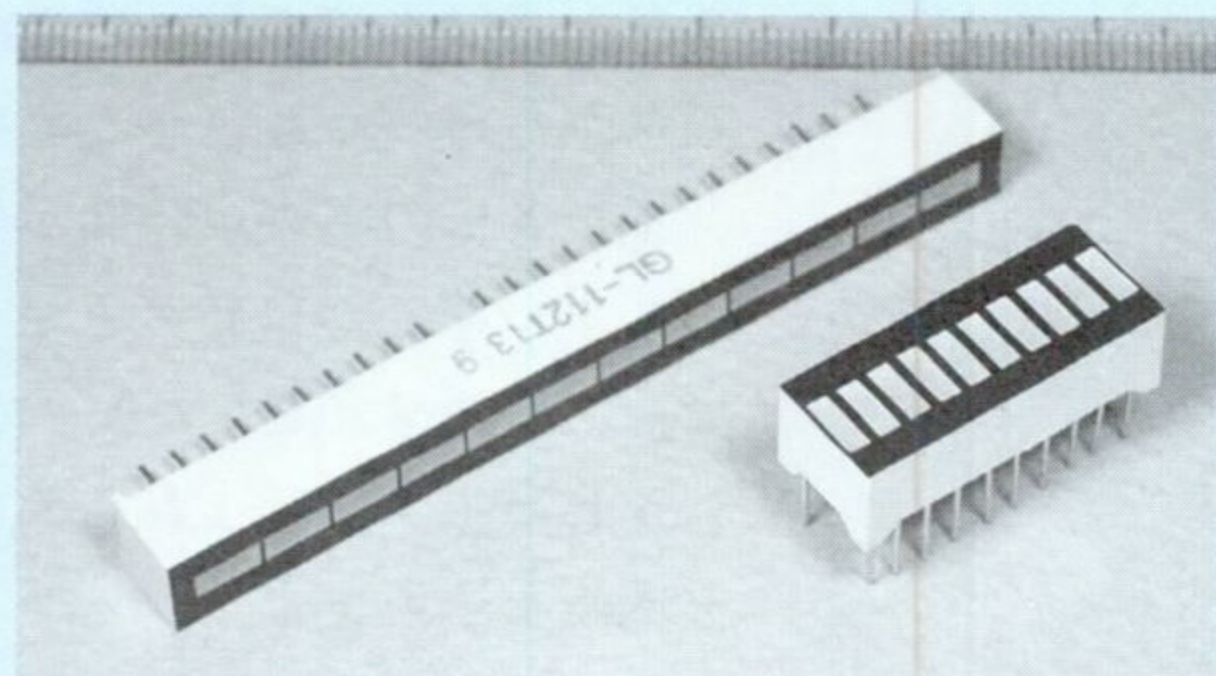
参照
・L金具 → p.146

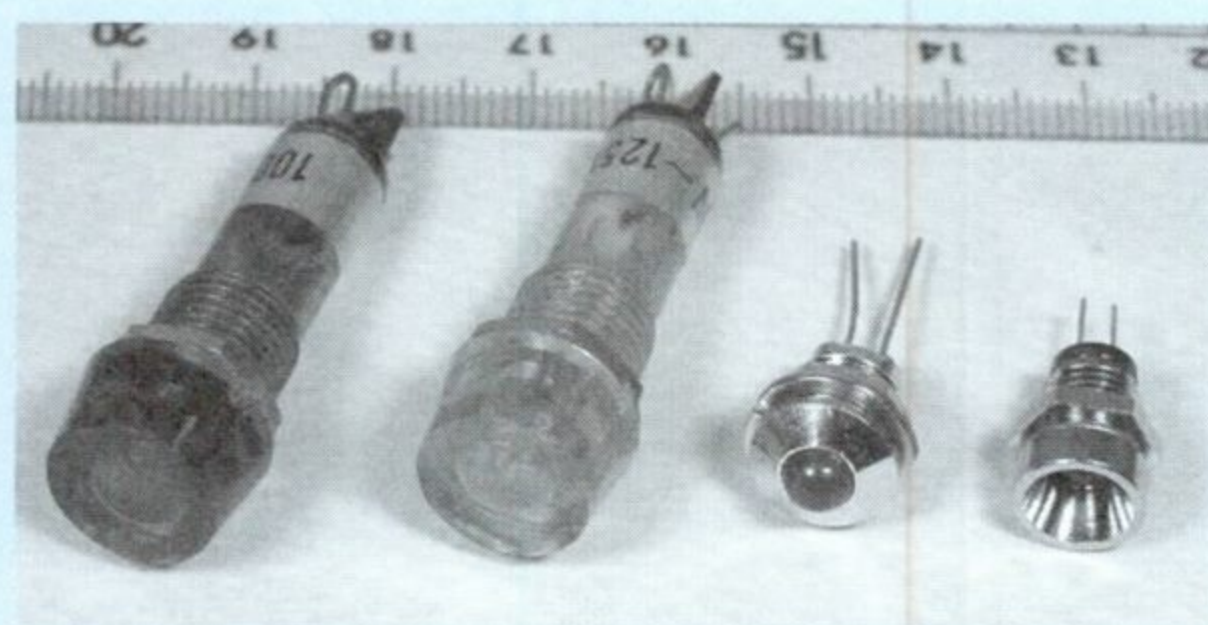
パネルの穴は、発光ダイオードの外形よりわずかに内側になるようにあける
薄手の両面接着テープ
色付き透明アクリル板
ケースパネル
プリント基板
L金具
セグメント発光ダイオード

薄手の両面接着テープ
プリント基板
L金具で固定することで、パネル面にはネジを出さない
色付き透明アクリル板
L金具
ケースパネル

◆図2.8.4　パネル実装方法

COLUMN　多連LED

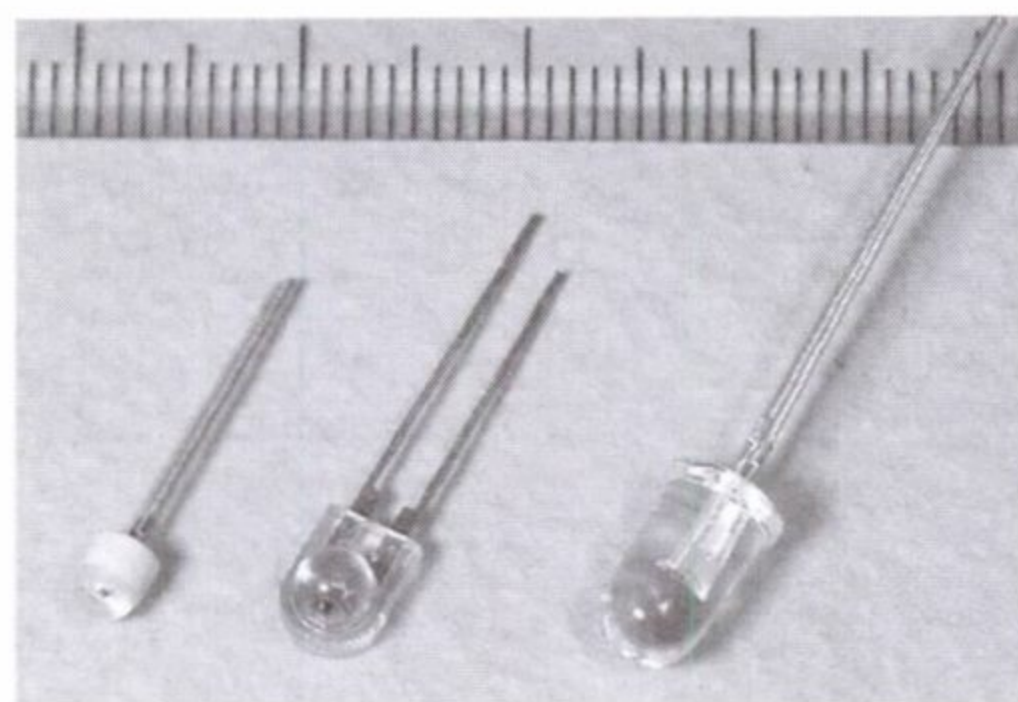
角型LEDを10個（12個）多連LEDです。さて用途は？

VUメータとして利用するというのはどうでしょう。詳しくは「デジタルアンプキット＋PICマイコンではじめる電子工作（技術評論社）」を参照してください。

COLUMN　パイロットランプ

写真のように発光ダイオードを金属やプラスチックのケースに組み込み、電源などのオン／オフ表示用としたパイロットランプもあります。大型のものにはLEDの電流制限用抵抗も内蔵しているものがあります。

2-8-3 赤外線発光ダイオード

アドバイス

赤外線発光ダイオードには、見た目もLEDとそっくりなものがあります。保管する際、きちんと分けておきましょう。

発光ダイオードの1種ですが、特別に赤外線波長の光を発生するようにしたのが、**赤外線発光ダイオード**です。テレビなどのリモコンの送信用として多用されています。赤外線発光ダイオードの種類も、いろいろなサイズと形があります。写真2.8.3が赤外線用発光ダイオードの例です。

◆写真2.8.3　赤外線発光ダイオードの例

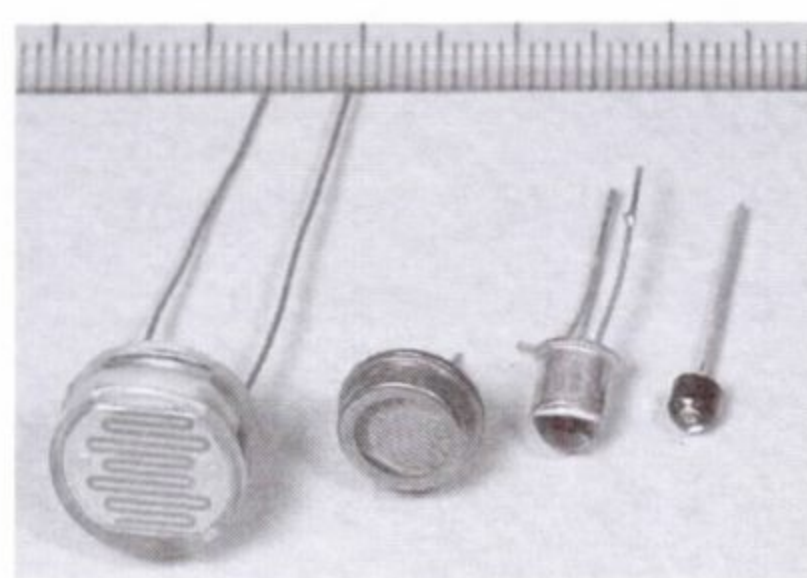
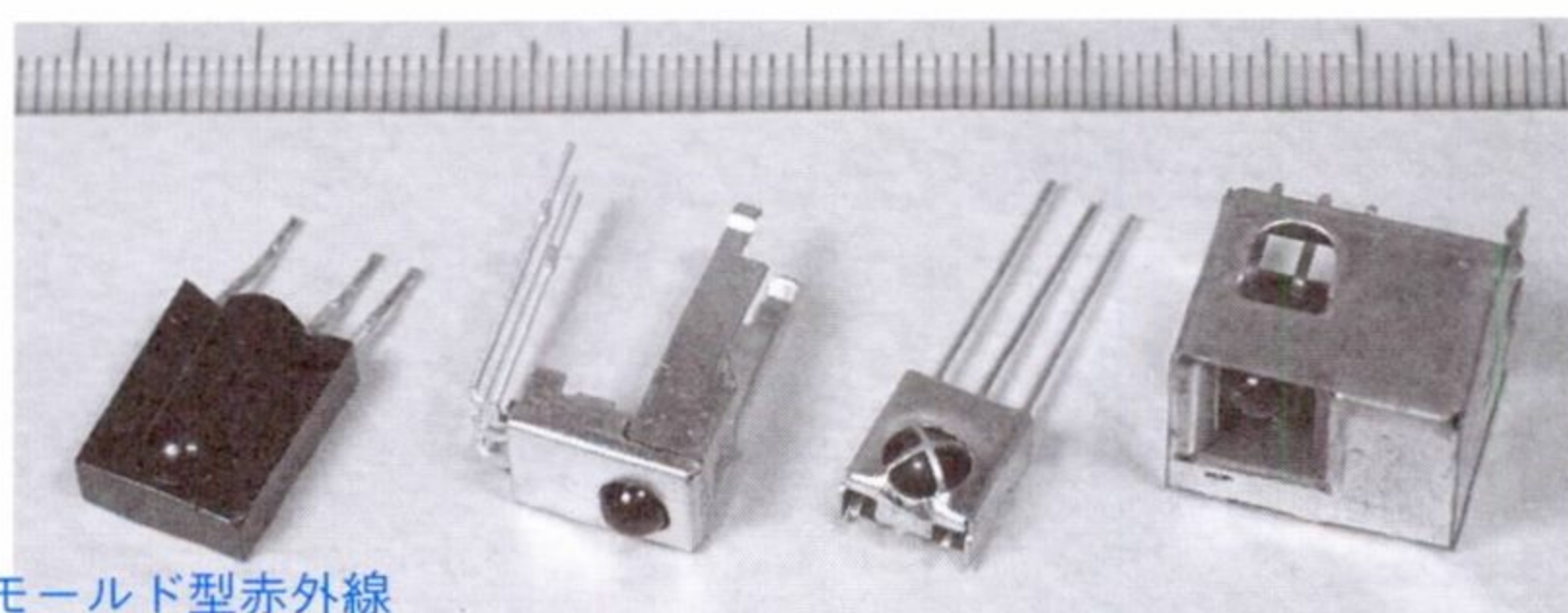
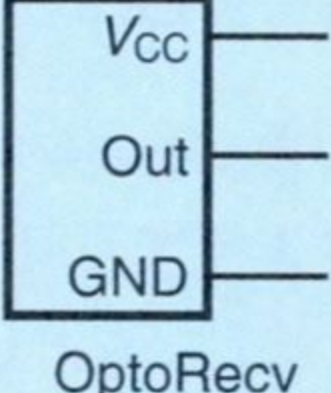
赤外線発光ダイオードは、光で通信することが目的の素子であるため、光を遠くまで届かせられるよう非常に大きなパルス電流で点灯させることができるようになっています。代表的な赤外線発光ダイオードでも、100 μ sec以下の短パルスであれば最大1A程度の順電流が流せるようになっています。また1Aまでの電流に比例して発光強度が強くなるようになっています。大電流が流せることを利用して、できるだけ遠くへ光が届くようにすれば、赤外線を使った光通信も可能となります。

このような大電流を流す場合には、多少発熱にも気を配る必要があります。そこで、実装するプリント基板の発光ダイオードへの配線パターンは幅広くして放熱効果が高くなるようにしてやります。

2-8-4 光受光デバイス

用語解説

・Cds
〔読み：シーディーエス〕
暗くなると自動点灯する街灯などに使われている光受光デバイスで、光導電セルと呼ぶ。

発光ダイオードとは逆に、光に反応する素子もいくつかあります。よく使われるのは**フォトトランジスタ**です。Cdsという素子も安価であることから、暗くなると自動点灯する街灯などに使われています。写真2.8.4は、これらの受光素子の代表的なものです。

左から
大型の光導電セル（Cds）
小型の光導電セル（Cds）
レンズ付フォトトランジスタ
小型フォトトランジスタ

モールド型赤外線
受光モジュール

各種の金属シールド付赤外線受光モジュール

◆写真2.8.4　代表的な受光素子の例

これらの受光素子の回路図記号は、表2.8.3のようにします。

◆表2.8.3　受光素子の回路図記号

回路図記号	略号	特徴他
PHOTO DIODE	D フォトダイオード	感度はよいが、出力が小さいのであまり使われない。
PHOTO NPN	OPT フォトトランジスタ	感度もよく、出力も扱いやすいのでよく使われる。
V_{CC} Out GND OptoRecv	特になし 外部端子は3つだが、内部にはICとセンサを内蔵している。	赤外線パルス列を受信できるように、フィルタ機能が内蔵されている。

(1)光導電セル（Cds）

Cds素子を集めて表面から光が入るようにしたものです。**Cds素子**は**光が当たると電気抵抗が下がるという特性**を持っており、それを利用したものです。感度はよいのですが、応答速度がフォトダイオードやフォトトランジスタよりも遅いという特性があります。

(2)フォトダイオード

通常のダイオードに逆方向に電圧を加えたときには電流はほとんど流れませんが、ダイオードの接合部に光を当てると、発光ダイオードと逆の原理で、**光のエネルギーにより、電流が流れる**ようになります。そして流れる電流は光の強さに比例します。このような原理で接合部に光が当たりやすくしたダイオードが**フォトダイオード**です。

(3)フォトトランジスタ

これはフォトダイオードと同じ原理ですが、**トランジスタのベースに光を当てるとコレクタ電流が流れる**という原理によってできています。写真2.8.4のようにケースの表面にレンズが付いていて、集光機能を果たし、感度がよくなるようになっているものもあります。小型のものは**カメラなどのセンサとして使われています。**

(4) 赤外線受光モジュール

他の素子とは別物で、内部にフォトトランジスタと一緒に、増幅、復調などの機能を持ったLSIが組み込まれたものです。一般の**赤外線リモコン送信機からの光を受信するための専用のモジュール**となっています。

テレビなどのリモコン送信機からの光信号は、約40kHzで変調されていて、そのまま赤外線を受信すると外光と区別が付かないのを改善するようになっていま

アドバイス

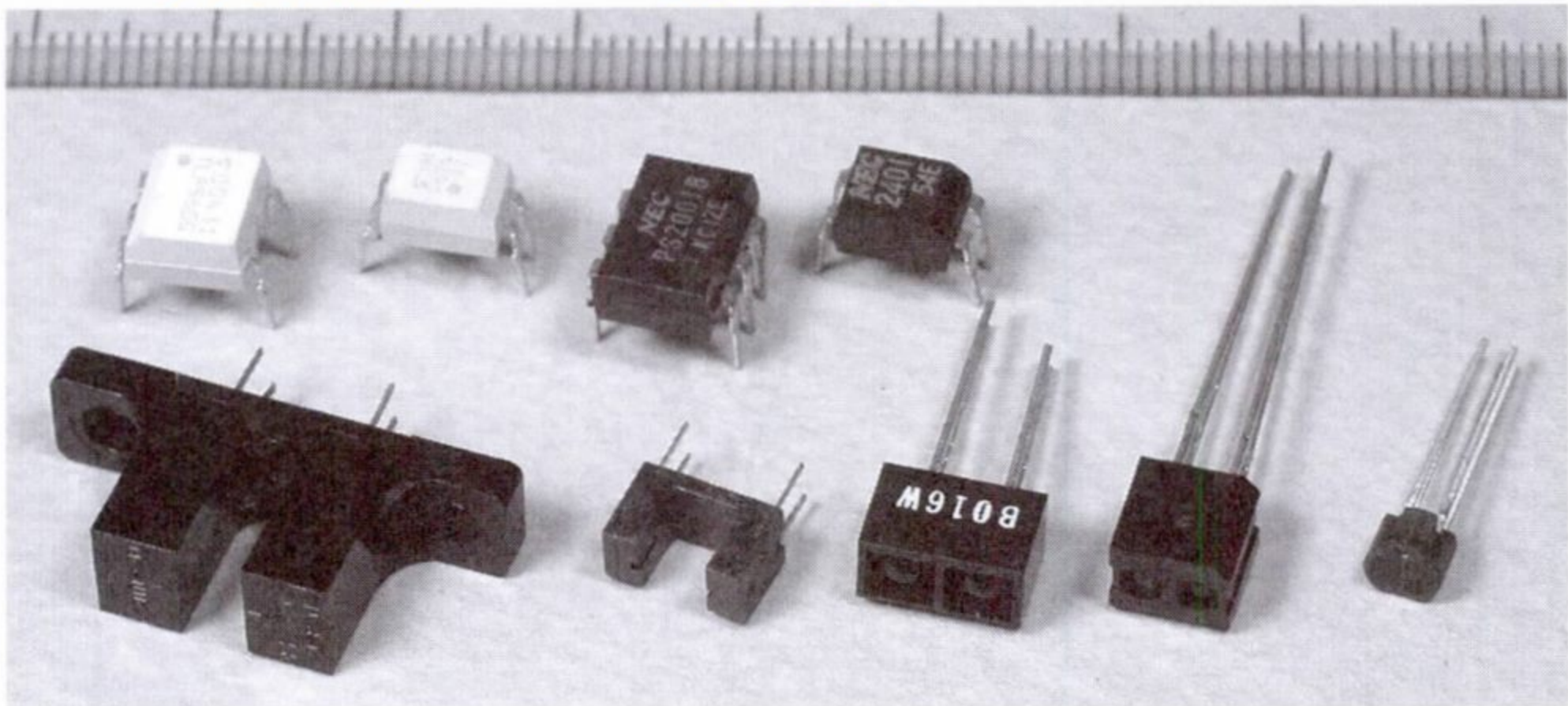
赤外線受光モジュールで、赤外線発光ダイオードを利用したリモコン送信機の信号を受信します。

す。したがって受信する方も、40kHzの信号だけを通すような工夫をしなければ正常に受信できません。赤外線受光モジュールにはこのための回路が一緒に組み込まれています。

2-8-5 フォトインタラプタとフォトカプラ

発光素子と受光素子を一体化してモジュール化した素子があります。それがフォトインタラプタとフォトカプラです。

トライアック出力のフォトカプラ　トランジスタ出力のフォトカプラ

間隙通過を検出するフォトインタラプタ　反射型のフォトインタラプタ

◆写真2.8.5　フォトカプラとフォトインタラプタの実例

これらの回路図記号は表2.8.4のようにします。

◆表2.8.4　フォトカプラの回路図記号

回路図記号	略号	特徴他
ISOLATOR	ISO インタラプタは特に略号はない	複数個をひとつのパッケージに実装している。インタラプタは多くの形状のものがある。

(1) フォトカプラ

発光ダイオードとフォトダイオードかフォトトランジスタやフォトトライアックを向かい合わせに一体化して素子化したものが**フォトカプラ**と呼ばれます。電気的に絶縁できることから、リレーに代わって**コンピュータと外部機器との接続によく使われます**。また絶縁耐圧を非常に高くできることから、スイッチングレギュレータの**フィードバック回路の入力と出力の絶縁にもよく使われています**。

参考

・フォトカプラの用途：リレーに代わってコンピュータと外部機器との接続。スイッチングレギュレータのフィードバック回路の入力と出力の絶縁など。

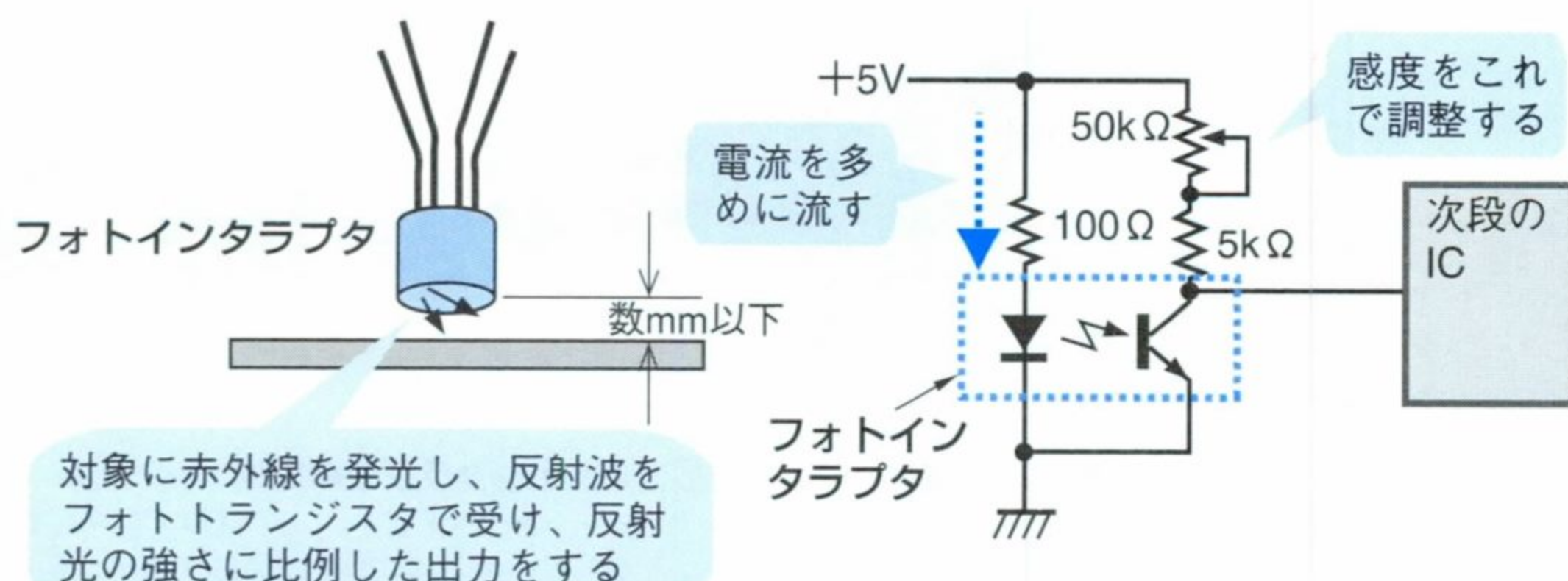
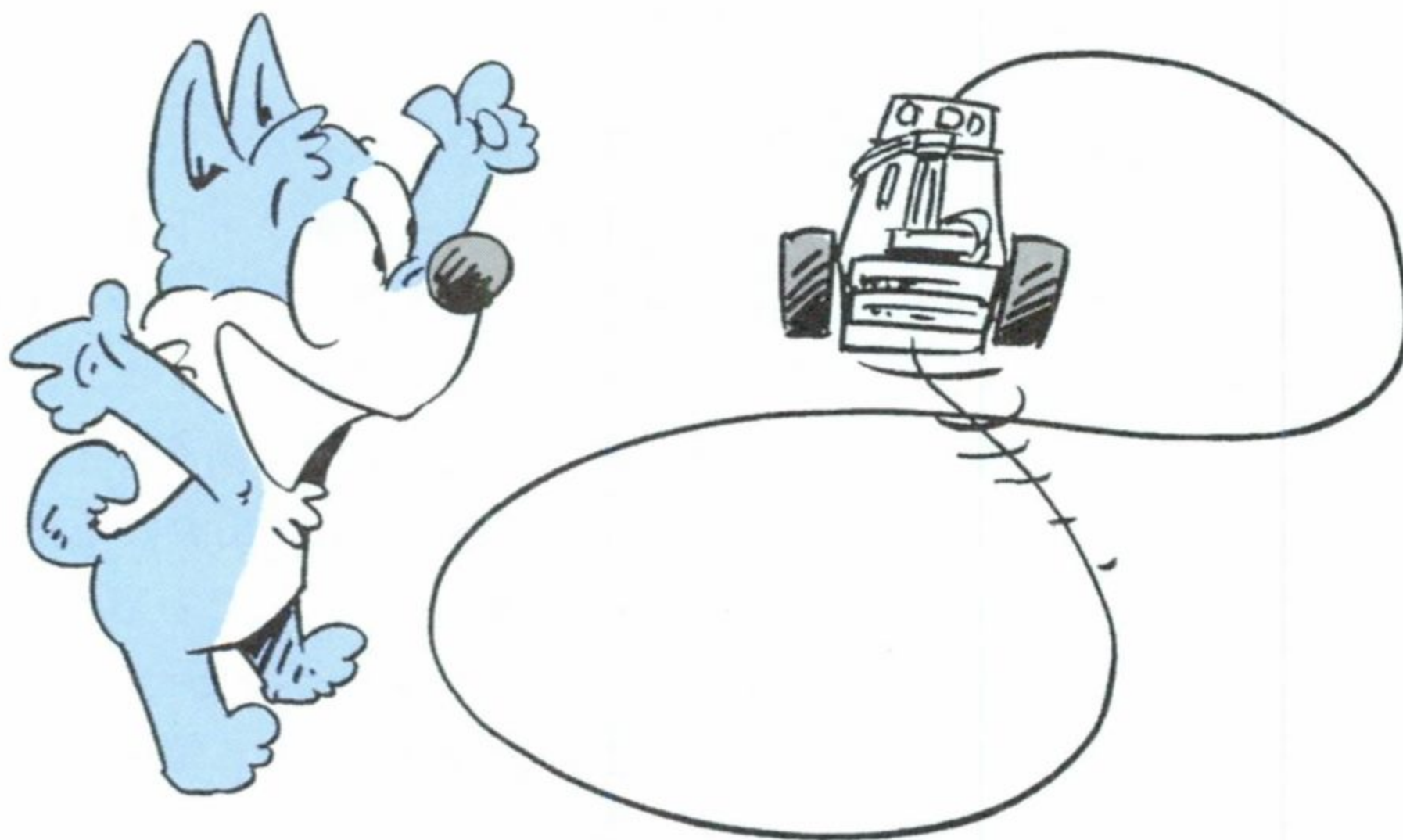
実物は写真2.8.5のように一般のDIP（ディップ）型ICと形状は変わりません。内部に何組か一緒に実装して16ピンパッケージなどになっているものもあります。また応答速度の速さによっても種類が分かれており、高速なものは、データ通信の絶縁用に使われています。さらにトライアック出力タイプのフォトカプラはAC電力の制御用として使われるため、高耐圧となっています。

(2) フォトインタラプタ

参考

・フォトインタラプタの用途：近接触型のセンサとして利用。ロボットの障害物検出、トレースカーのトレース線の検出など。

これは赤外線発光ダイオードとフォトトランジスタを1個のケースに一緒に封じ込めたもので、外観は写真2.8.5のような形で、通過型と反射型があります。**反射型**は頭部がその発光と受光面になっていて、対象からの反射光を検出するようになっています。ただ、このタイプは数mmという距離でしか反応しませんので近接触型のセンサとして使います。ロボットなどの障害物検出や、トレースロボットなどのトレース線の検出に使います。

実際の取り付けは、上面が光の送受光部になっていますので、これを検出対象に向けて取りつけます。取りつけ方にはちょっとしたコツがあり、検出対象面からセンサまでの間隔は、図2.8.5のようにします。またこれを駆動する方法は、図のように発光ダイオード側には、20mA程度のやや多目の電流を流して感度を高めるようにし、受光側には出力負荷に可変抵抗を接続して、検出感度がちょうどよいところに調整できるようにしておきます。

◆図2.8.5 フォトインタラプタの使い方

2-9 発振素子とフィルター素子

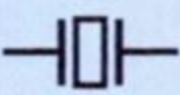
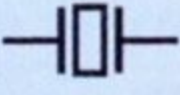
一定の周波数の信号を出力するために使われる素子を、発振素子とか振動子とか呼びます。また、特定の周波数だけを通過するようにした素子をフィルター素子と呼びます。発振素子もフィルター素子も、いかに安定な高精度の信号を発振するか、あるいは通すかによりいろいろな素子があります。

2-9-1 発振素子

一般には、私たちの電子工作で入手できる発振素子には、抵抗とコンデンサによる**RC発振素子**、コイルとコンデンサによる**LC発振素子**、**セラミック振動子**(しんどうし)と**水晶振動子**が使われています。これらの安定度と周波数精度を比較すると表2.9.1のようになります。表からすれば水晶振動子（クリスタル振動子ともいう）が最も優れているということが言えます。ここではRC発振素子とLC発振素子は省いて、セラミック振動子と水晶振動子について使い方を説明します。

用語解説

・発振素子（振動子）
一定の周波数の信号を出力するために使われる素子。

・フィルター素子
特定の周波数だけを通過するようにした素子。

◆表2.9.1　発振素子の精度比較

発振素子	周波数安定度	周波数精度
RCまたはLC発振素子	数100ppm/℃	±2.5%
セラミック振動子	30〜100ppm/℃	±0.5%
水晶振動子	数10ppm/℃ 以下	±0.001%以下
水晶発振モジュール	3ppm/-20〜60℃ 以下	3ppm以下

【注】RC：抵抗とコンデンサ　　LC：コイルとコンデンサ

回路図記号はセラミックも水晶振動子も同じ記号を使い、表2.9.2のようにします。

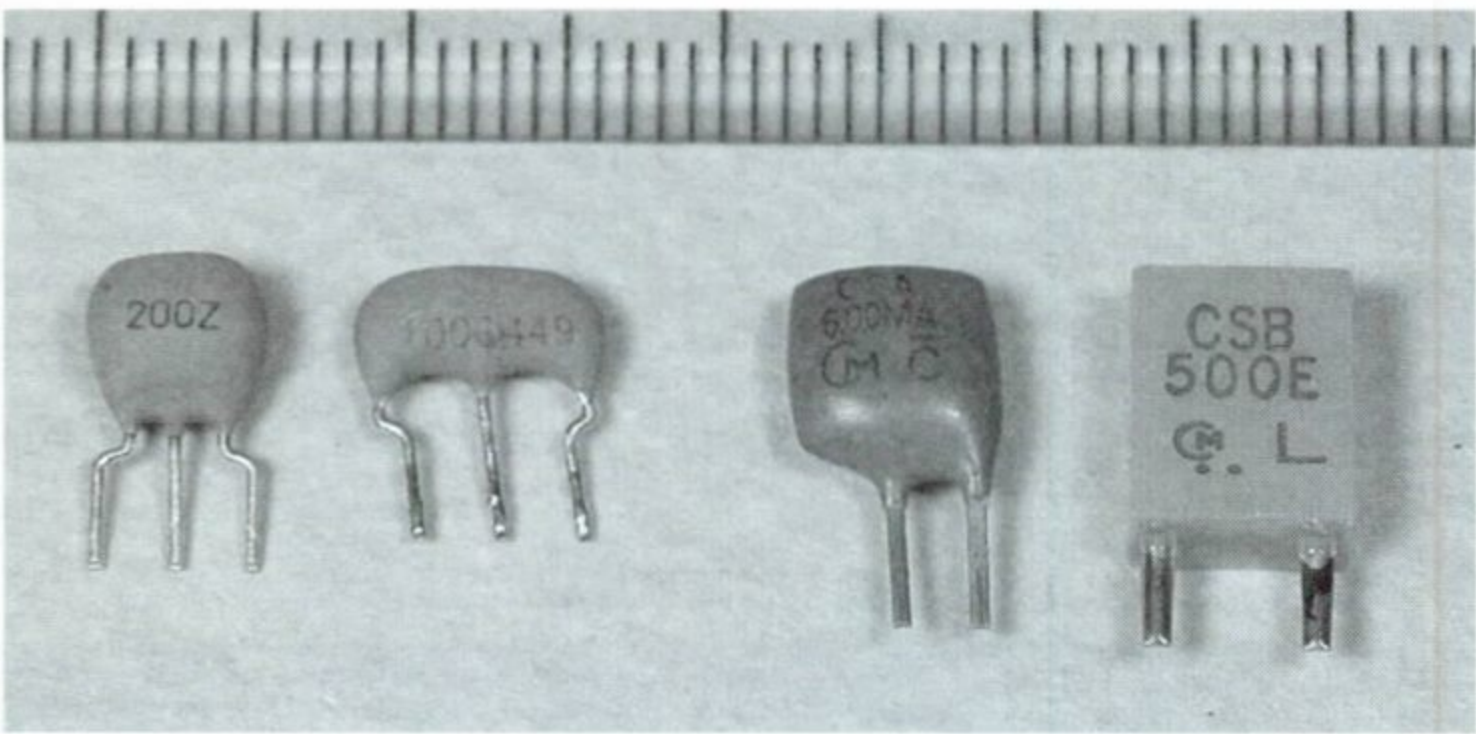
◆表2.9.2　振動子の回路図記号

回路図記号	略号	名称	特徴他
Y1 ⊣▯⊢ 10MHz	X	セラミック振動子 セラロック（固有名称）	あまり高精度ではないが、安価でありよく使われる。コンデンサー体型もあり便利。 高精度な周波数を得るときの定番。
Y1 ⊣▯⊢ 10MHz	XTAL	水晶振動子 クリスタル振動子	さらに高精度を得るときは、水晶発振モジュールを使う。

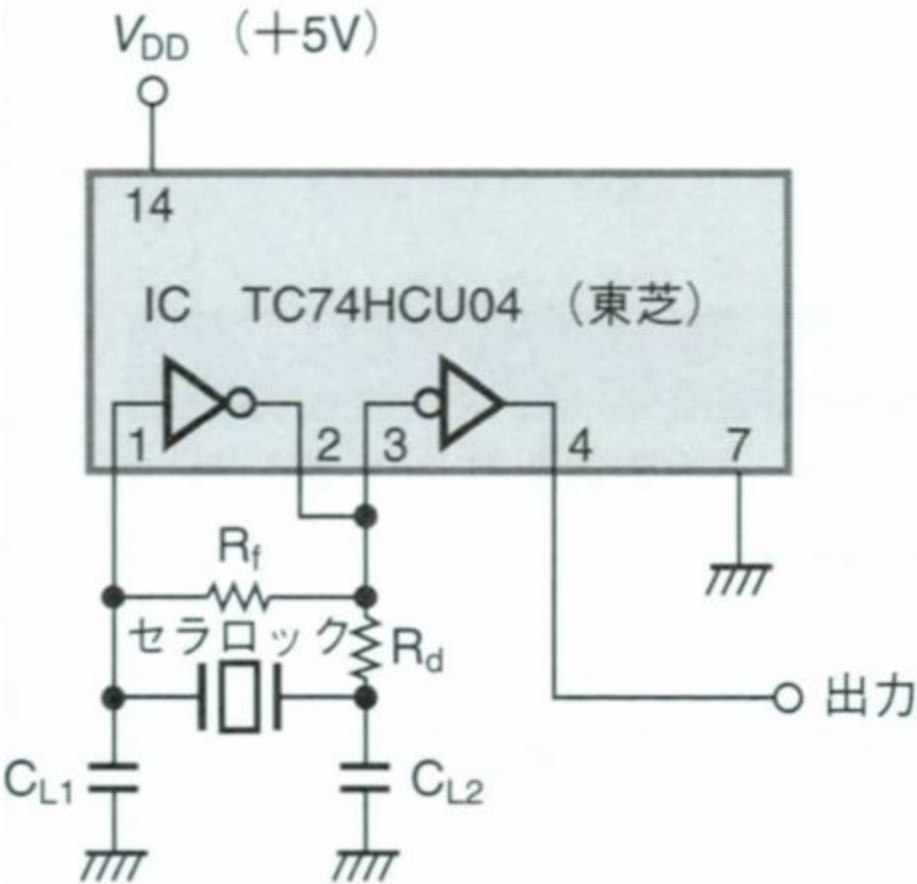
2-9-2 セラミック振動子（セラロック）

参考
筆者はセラロック（村田製作所）をよく利用しています。秋葉原のショップで購入できます。

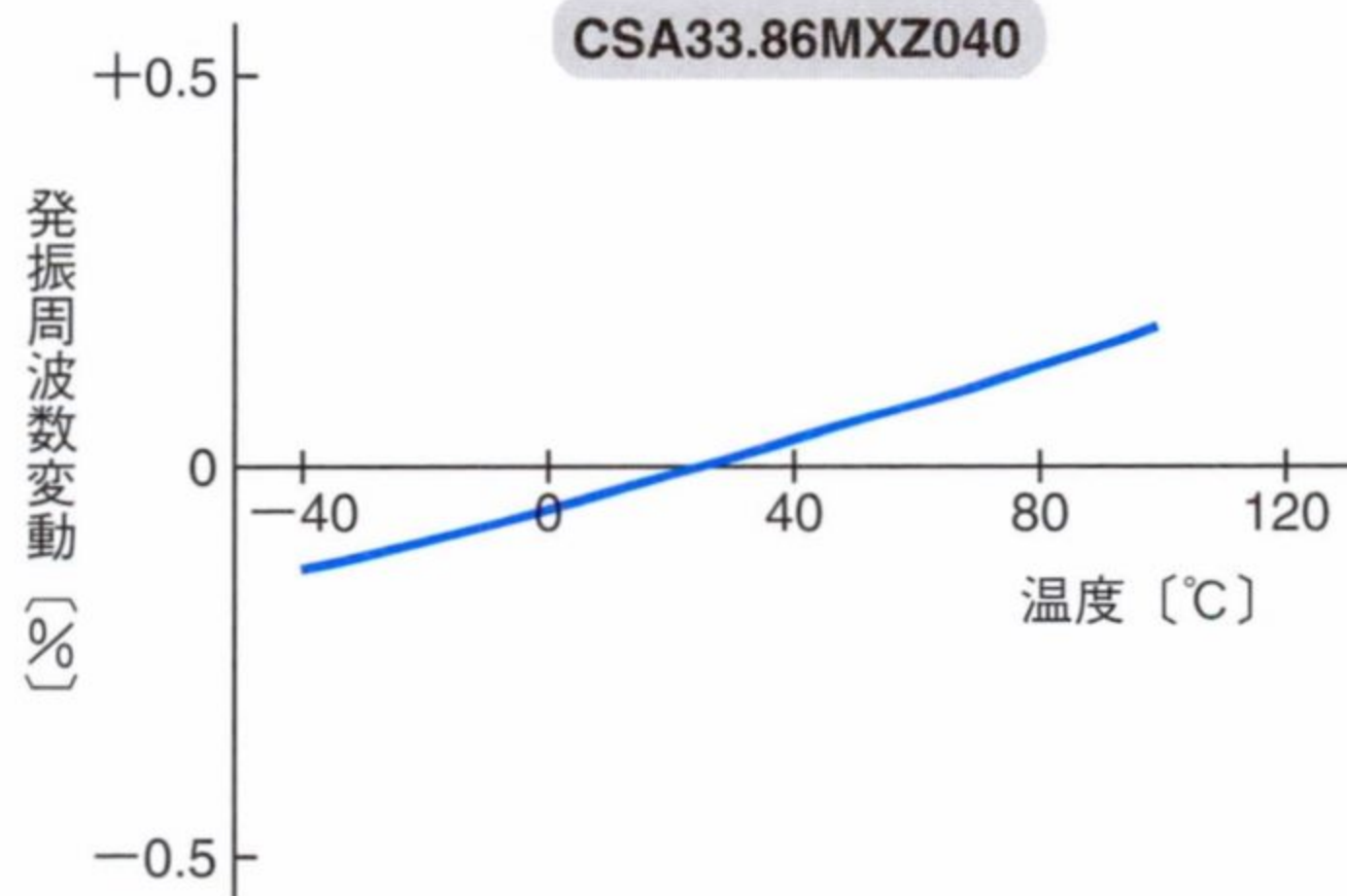
水晶振動子ほどの精度が不要なときには、安価な**セラミック振動子**が使われています。水晶より悪いといっても、10^{-4}/℃程度の温度安定度があるので、RC発振回路に比べればはるかに優れた特性を出すことができます。また水晶振動子に比べ優れているのは、電圧制御発振回路で周波数可変をする場合、セラミック振動子の方が広い可変範囲を得ることができます。

セラミック振動子の実際の外観は写真2.9.1のような形をしており、比較的小型ですが周波数帯により大きさが異なっています。また、特に最近のマイコンのクロック回路用にコンデンサと一体となった3本足の形のものも専用に用意されており、便利に使うことができます。

◆写真2.9.1　セラミック振動子外観

使い方はメーカのデータシートに従い図2.9.1のような回路で使います。発振用のICとしては74HCシリーズを使うことが基本なので、これをベースにしたとき付加するコンデンサの値に、図中の表のような最適値があるので注意します。

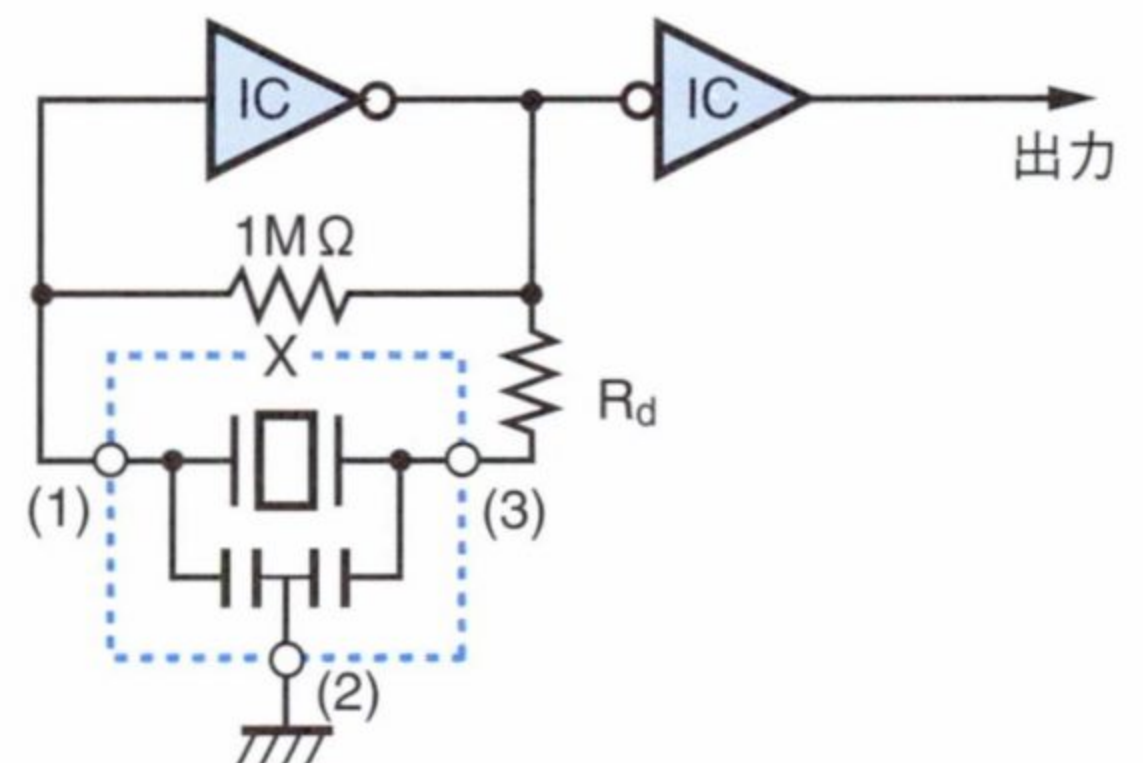
V_{DD}（＋5V）
14
IC　TC74HCU04（東芝）
1 2 3 4 7
R_f
セラロック
R_d
出力
C_{L1}
C_{L2}

項目 / シリーズ名	周波数範囲	回路定数			
		C_{L1}	C_{L2}	Rf	Rd
CSB□40	370～429kHz	330pF	330pF	1MΩ	5.6kΩ
	430～699kHz	220pF	220pF	1MΩ	5.6kΩ
	700～999kHz	150pF	150pF	1MΩ	5.6kΩ
	1000～1250kHz	100pF	100pF	1MΩ	5.6kΩ
CSTS□MG06	2.00～3.39MHz	(47pF)	(47pF)	1MΩ	1.0kΩ
	3.40～10.00MHz	(47pF)	(47pF)	1MΩ	680Ω
CSA□MTZ040	10.01～13.00MHz	100pF	100pF	1MΩ	220Ω
CSA□MXZ040	13.1～19.99MHz	30pF	30pF	1MΩ	0
	20.00～25.99MHz	15pF	15pF	1MΩ	0
	26.00～60.00MHz	5pF	5pF	1MΩ	0

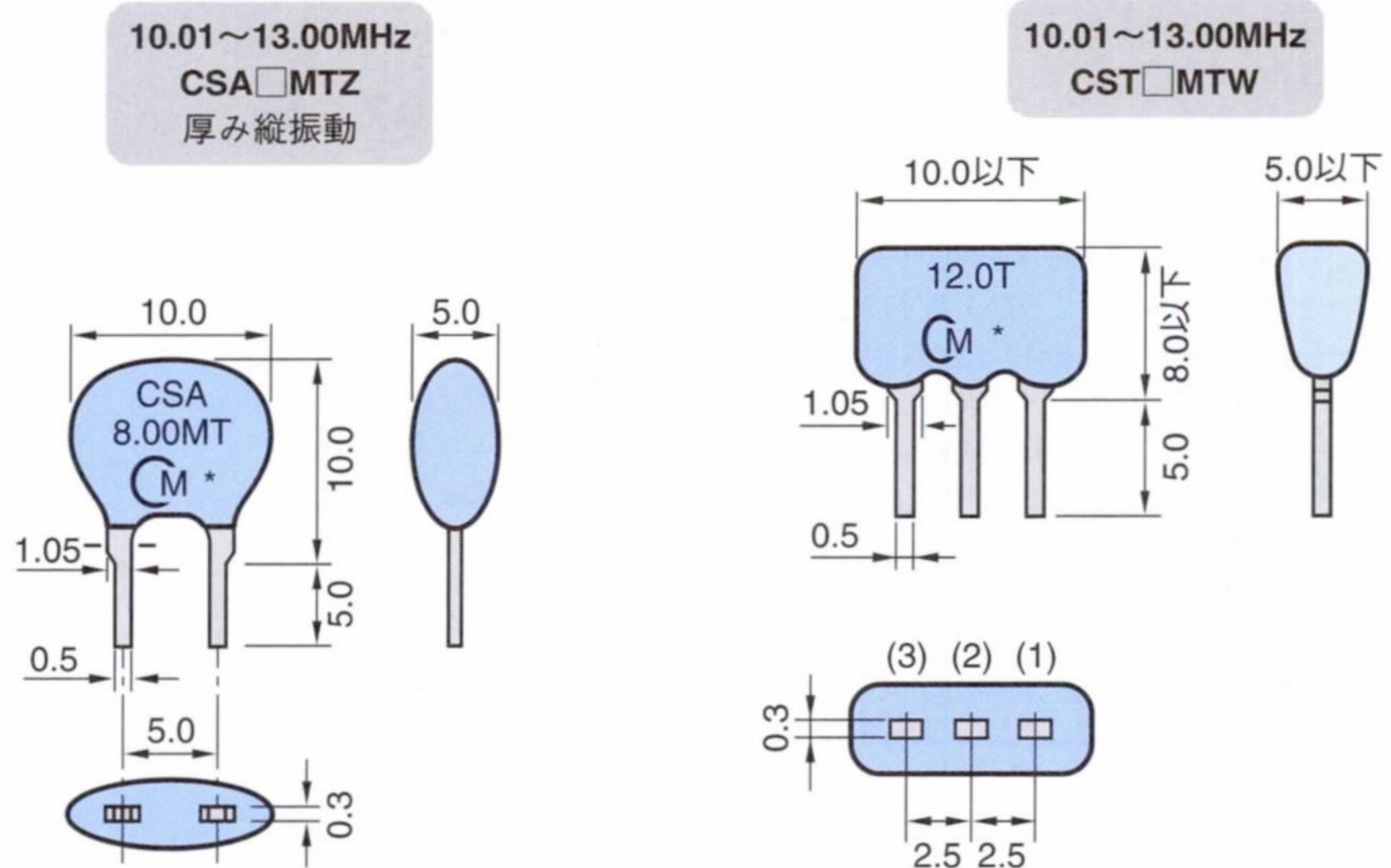
◆図2.9.1　セラロックの使い方（村田製作所マニュアルより）

この回路の場合の周波数安定度は図2.9.2のように通常使用する温度範囲で±0.2%程度ですから、特に高精度の周波数を必要としなければ特別問題になるような変動ではありませんので、安価であることもありよく使われています。

◆図 2.9.2　発振周波数の安定度

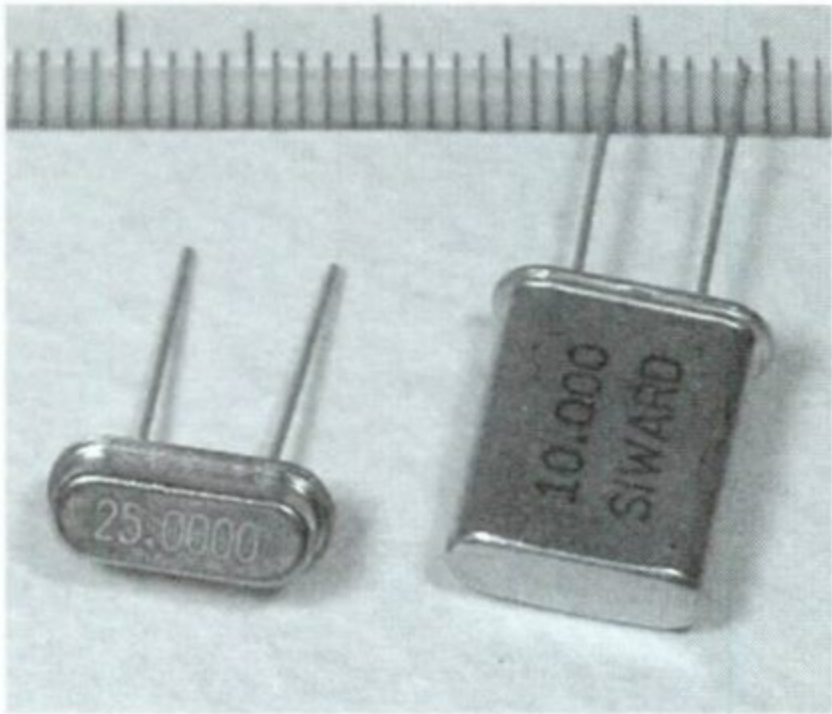
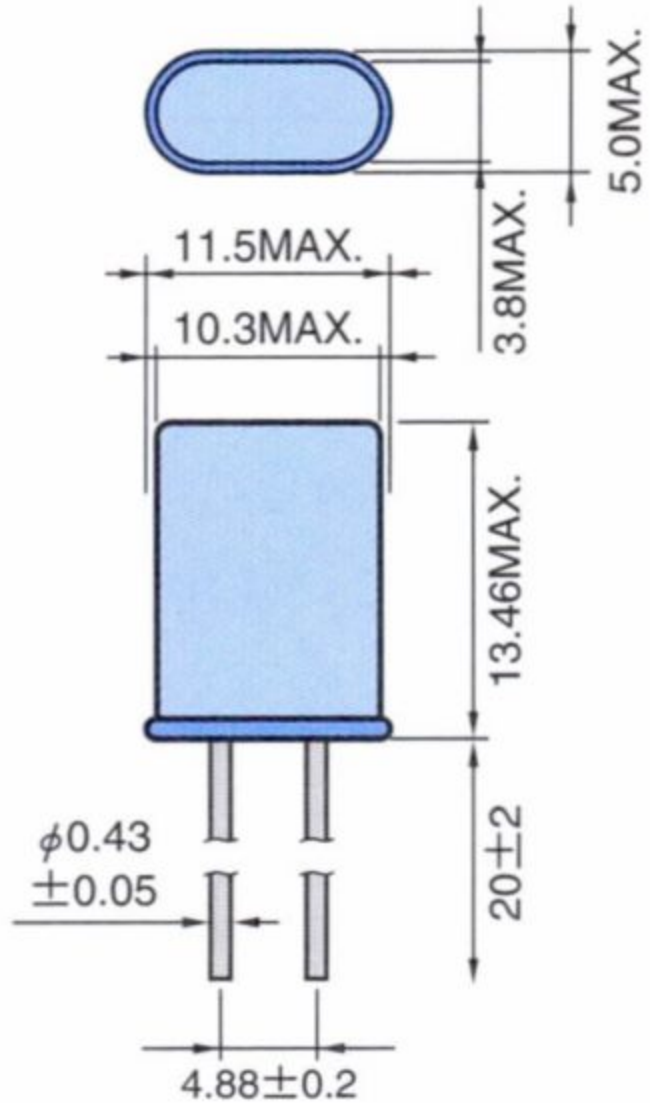
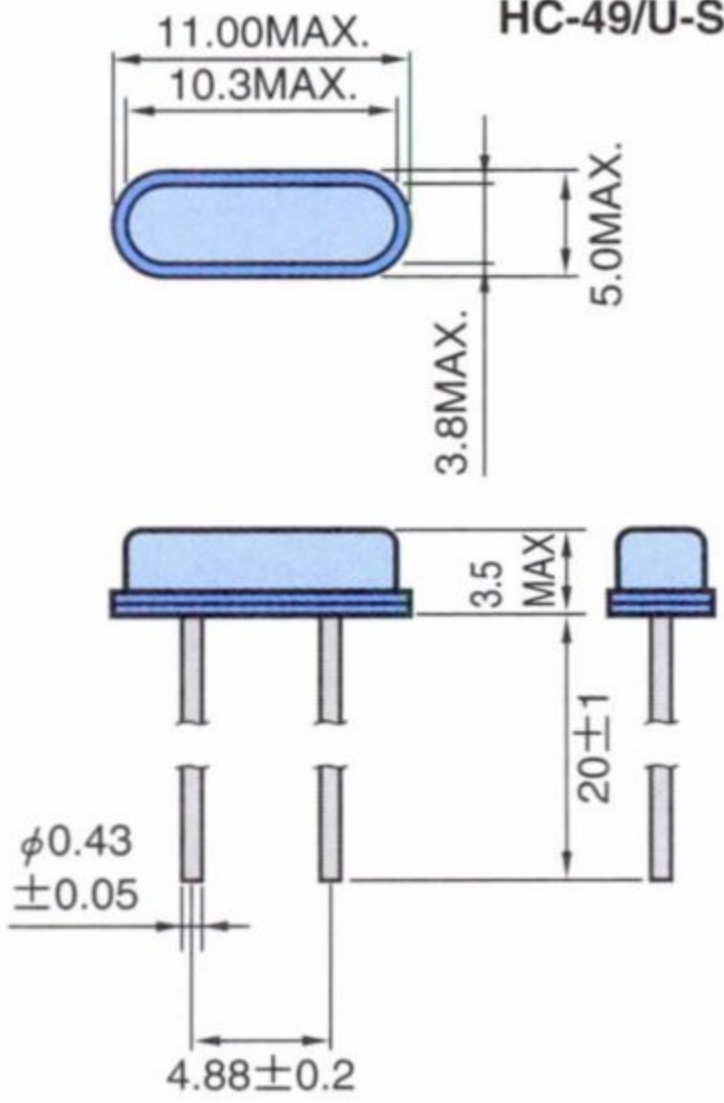
アドバイス

セラロックにはコンデンサを内蔵したものがあります。

またコンデンサ内蔵タイプのものは図2.9.3の回路で使います。これの方が部品点数も少なく、場所も取らないので便利です。この回路ではセラロックの向きにより少し周波数がずれるようですので、できるだけ向きを合わせるようにしてください。つまり1番ピン側を入力側にします。

◆図 2.9.3　コンデンサ内蔵タイプの使い方

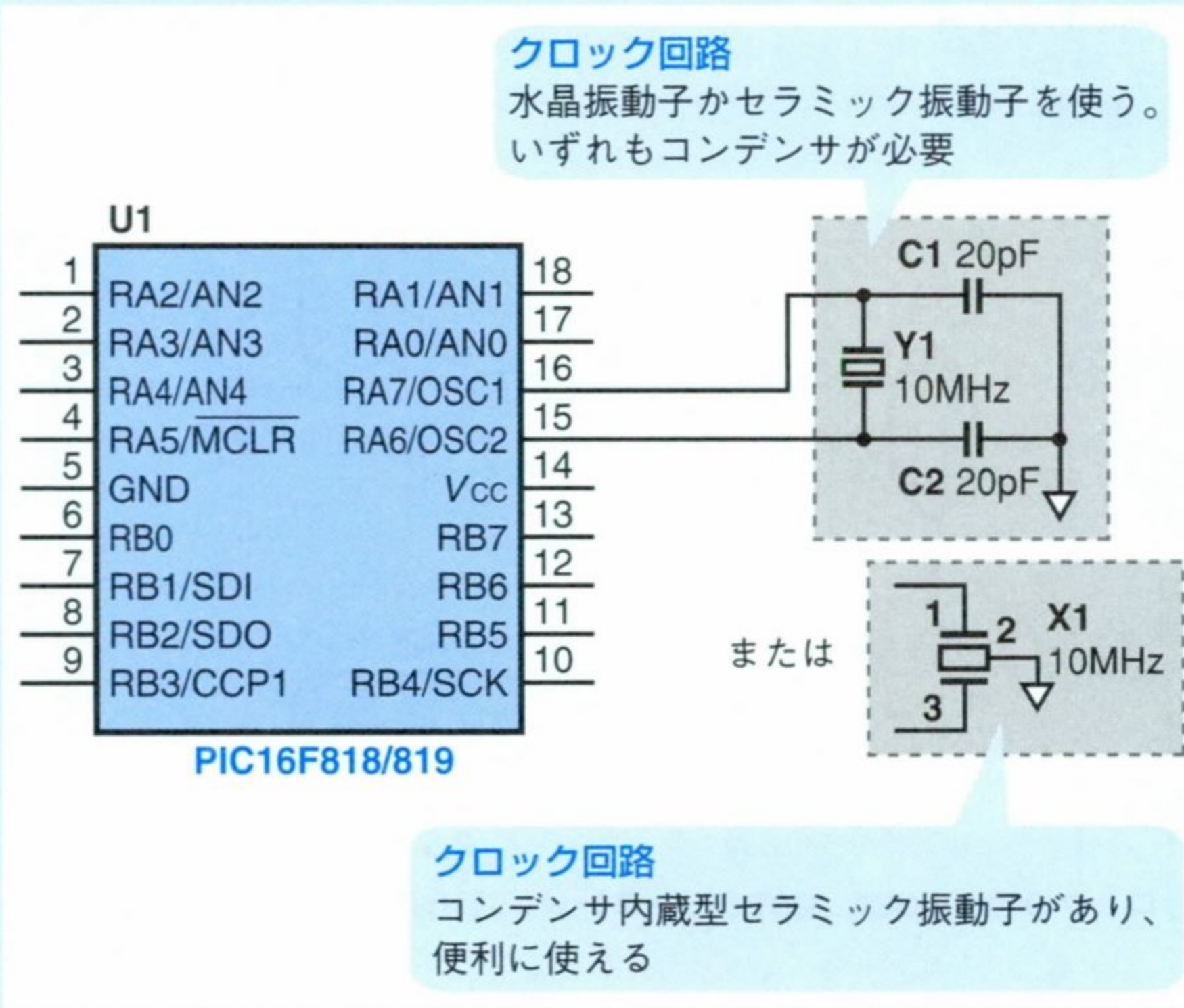
実際の振動子は図2.9.4のような寸法をしています。これを通常の0.1インチピッチの穴あけで実装します。

◆図 2.9.4　セラロックの寸法（CSA、CSTシリーズ）（村田製作所データシートより）

2-9-3 水晶振動子（クリスタル振動子）

水晶振動子は、アマチュアで簡単に入手できる安定な発振素子としては、最もよく使われている振動子です。簡単に、数10^{-6}/℃程度の温度安定度が得られます。周波数範囲も広く、発振回路も比較的簡単なため、数多くの場面で使われています。形や大きさにも種々あり写真2.9.2は小型のものの代表的な例です。

◆写真2.9.2 小型水晶振動子の外観（左側がHC49US）

代表的なHC49U型とHC49US型の特性は表2.9.3のようになっています。これらの水晶振動子はいずれもマイコンのクロック用に作られているもので、周波数範囲も広く使いやすいタイプです。

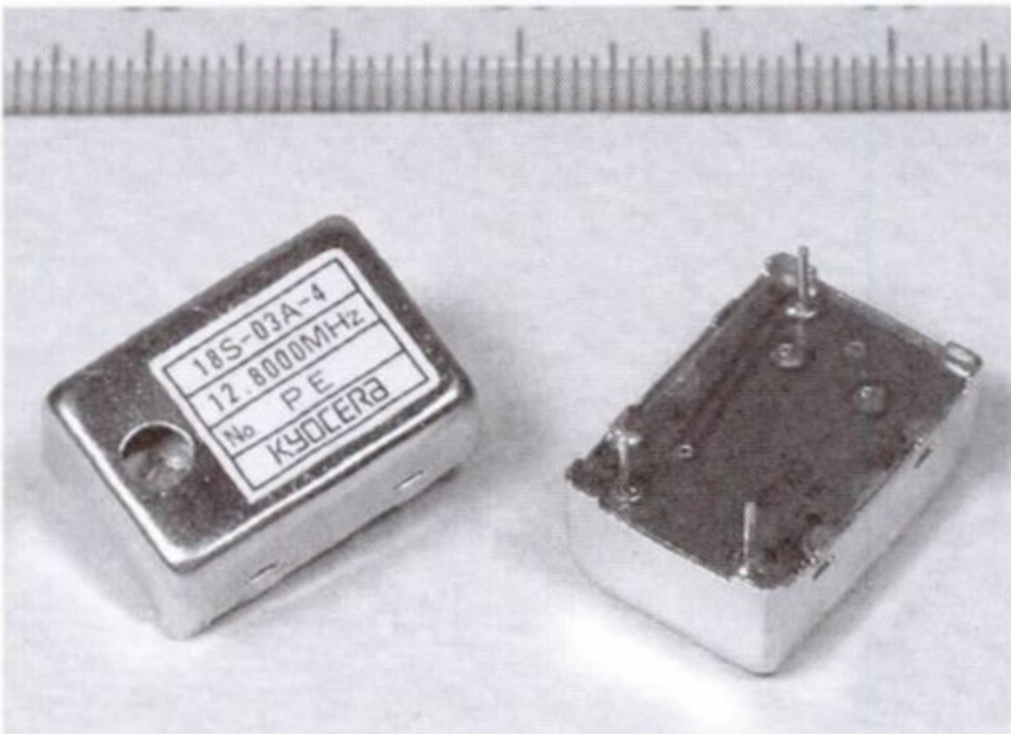
COLUMN クロック

マイクロコンピュータなどのペースメーカの役割を果たす信号で、動作の基準となります。安定で一定の周波数にする必要があるため、セラミックやクリスタル振動子を使った発振回路により生成します。例えばPICマイコンのような場合には、図のような回路として構成します。

◆PICに必須の発振回路

◆表2.9.3　代表的な水晶振動子の特性

項目	HC49U	HC49US	備考
周波数範囲	3～66.7MHz	3.5～60MHz	
周波数偏差	±50ppm	±50ppm	at 25℃
周波数温度変化	±50ppm／℃	±50ppm／℃	
動作温度範囲	-20～70℃	-10～70℃	
外形寸法	11.5MAX. 10.3MAX. 5.0MAX. 3.8MAX. 13.46MAX. φ0.43 ±0.05 20±2 4.88±0.2	HC-49/U-S 11.00MAX. 10.3MAX. 5.0MAX. 3.8MAX. 3.5 MAX 20±1 φ0.43 ±0.05 4.88±0.2	

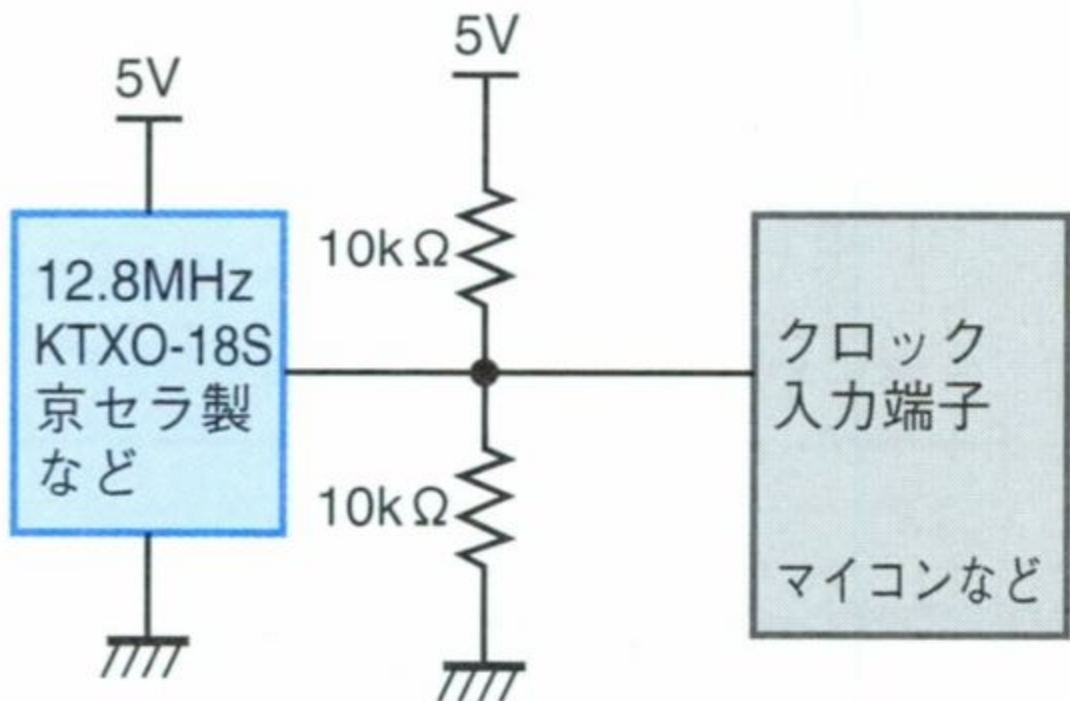
2-9-4　高精度水晶発振モジュール

最近よく使われる発振器で、あらかじめ水晶振動子と電子回路を組み合わせてモジュール化されたものがあります。電子回路には温度補償など、より安定な発振をさせるための工夫が施されており、電源さえ接続すれば精度の高い信号が出力される便利なものとなっています。写真2.9.3が実例です。特定用途向けのため、端子は3端子で＋電源と出力とGNDだけです。

◆写真2.9.3　高精度水晶発振モジュールの例

写真のように、完全密閉で全く触れないものと、シートなどをはがすと調整用のネジがあるタイプがあります。しかし、もともとの精度が3ppm以下という高精度ですから、触ることはまず必要ありません。表2.9.4が**高精度水晶発振モジュール**の規格の例です。

◆表2.9.4　TCXOの規格（東洋通信機のカタログより）

項目	内容
型名	TCO-703A
出力周波数	12.80000MHz
出力レベル	1Vpp以上（DCカット　クリップドサインウェーブ）
周波数温度特性	±2.5ppm／-30℃～75℃
周波数電源変動	±0.3ppm／＋5V±5%
周波数経年変化	±1ppm／年
周波数可変範囲	±3ppm

モジュールの使い方は、図2.9.5のように、マイコンなどのクロックとして使うときには、高精度水晶発振モジュールの出力が交流となっているので、抵抗でプルアップダウンしてレベルをICレベルに合わせています。

◆図2.9.5　高精度水晶発振モジュールの使い方

2-9-5　センサ

センサというと非常に広範囲の種類のものが含まれてしまいますが、ここでは、容易に入手でき、安価で使いやすいというものに限定して説明します。

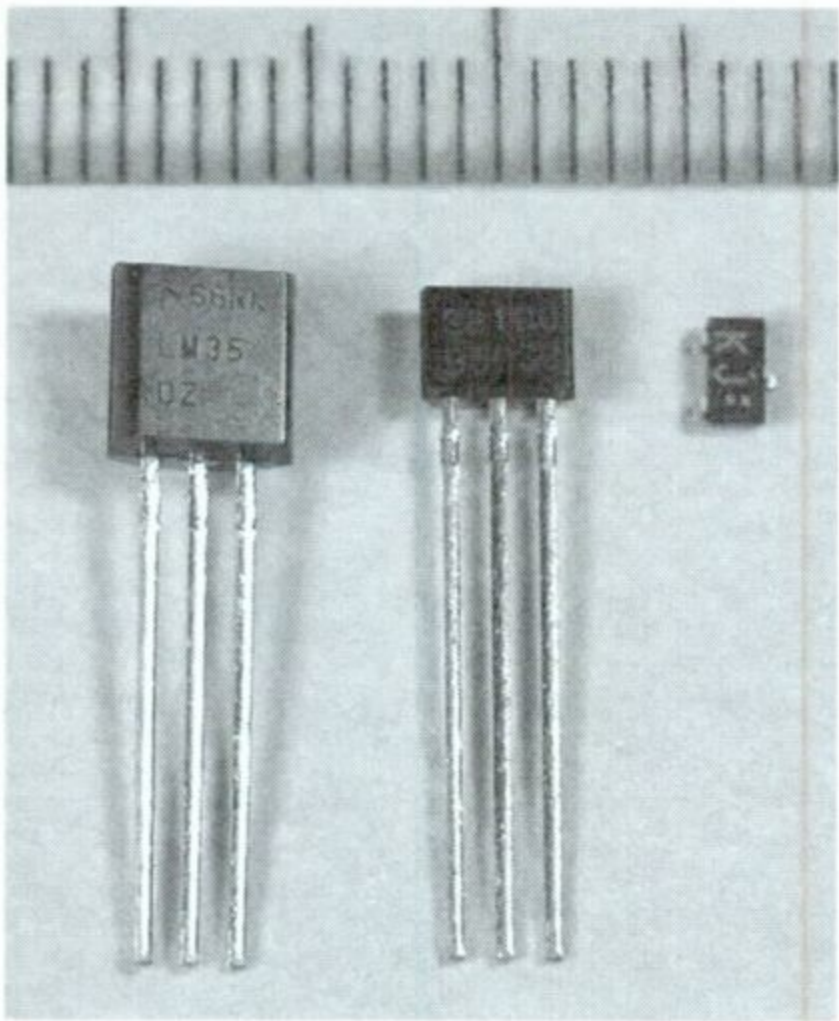
とくに最近ではマイクロコンピュータと組み合わせて使うようになって、センサの役割が重要な要素となってきました。

用語解説

・**温度センサ**
物体や室温などの温度に比例した信号を出力するセンサで、最近は半導体による温度センサがよく使われる。

(1) 温度センサ

温度を計測するためのセンサで、測定する温度範囲と精度によって多くの種類がありますがよく使われるものには表2.9.5のようなものがあります。

最近は、マイクロコンピュータ等で室温などの計測に半導体の温度センサが多く使われるようになりました。センサから温度に比例した電圧出力が出るものと、直接シリアルデータ通信で出るものと

◆写真2.9.4　半導体温度センサ

があり、いずれもマイクロコンピュータと容易に接続できるようになっています。外観は写真2.9.4のように一般のICと同じ形状となっています。

◆表2.9.5　温度センサの種類

名称	測定温度範囲	特徴
熱電対	−200℃〜1700℃ 温度範囲により数種類ある	JISで規格化されているため測定の信頼度が高い。高温度まで測定可能。完全にリニアな特性ではないので高精度な測定には補正（リニアライズ）が必要
白金測温抵抗体	−250℃〜640℃ 100Ω、500Ω、1kΩの3種類がある	JISで規格化されている。 高精度の測定が可能。リニアライズが必要
半導体温度センサ	−20℃〜150℃	比較的狭い温度範囲の室温などの測定用。精度は±0.5℃程度とそれほどよくはないが使い方が簡単。 センサ出力がアナログ電圧のものと、デジタルのシリアル信号のものがある。

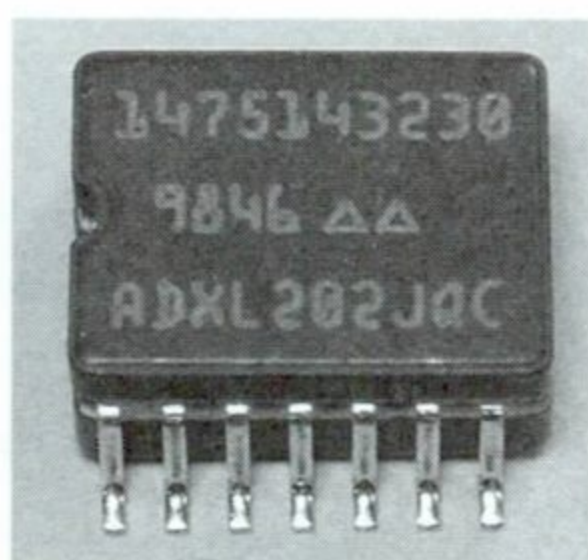
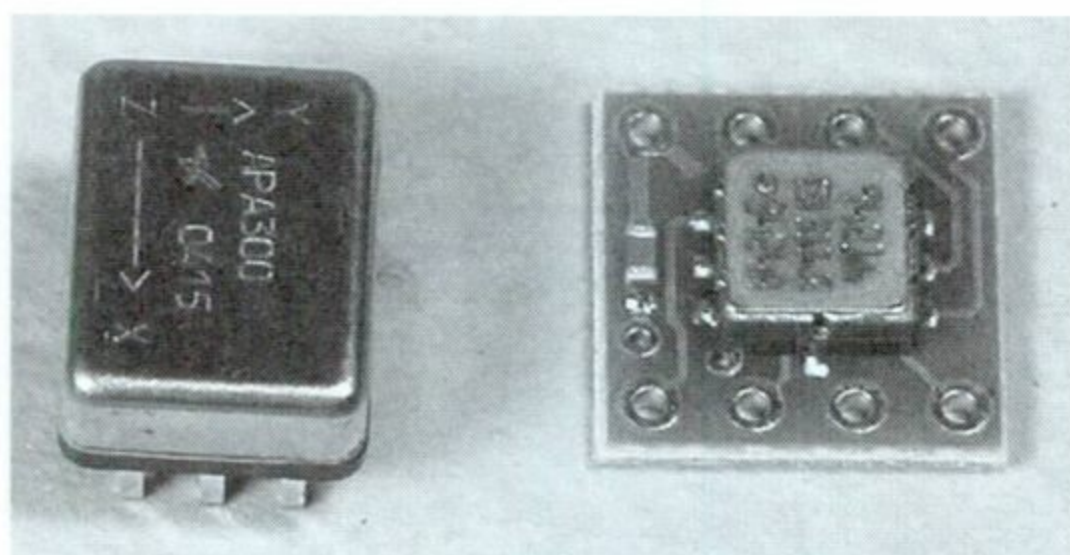
(2) 加速度センサ

加速度や傾き（重力に対する加速度）を計測できるセンサです。XとY方向の2軸のものと、X、Y、Zの3軸の加速度か傾きが計測できるものがあります。センサ出力は、表2.9.6のように加速度あるいは傾きに比例したアナログ電圧か、パルス幅で出力されます。

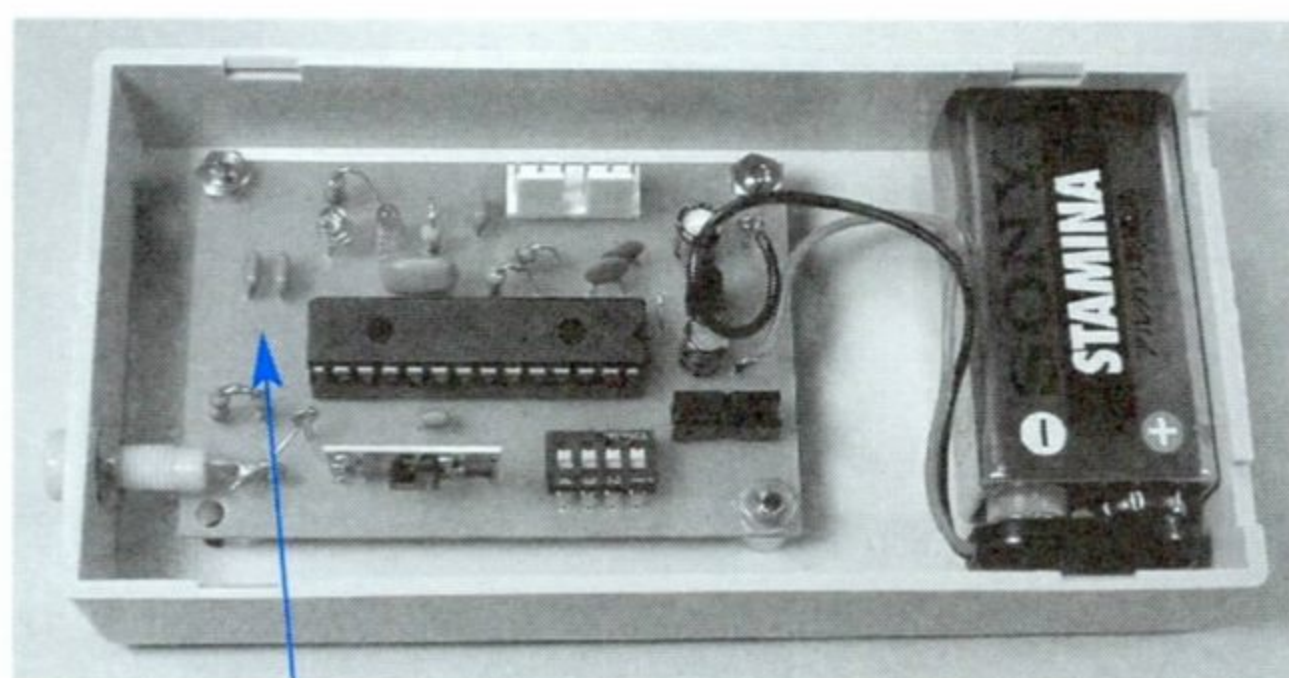
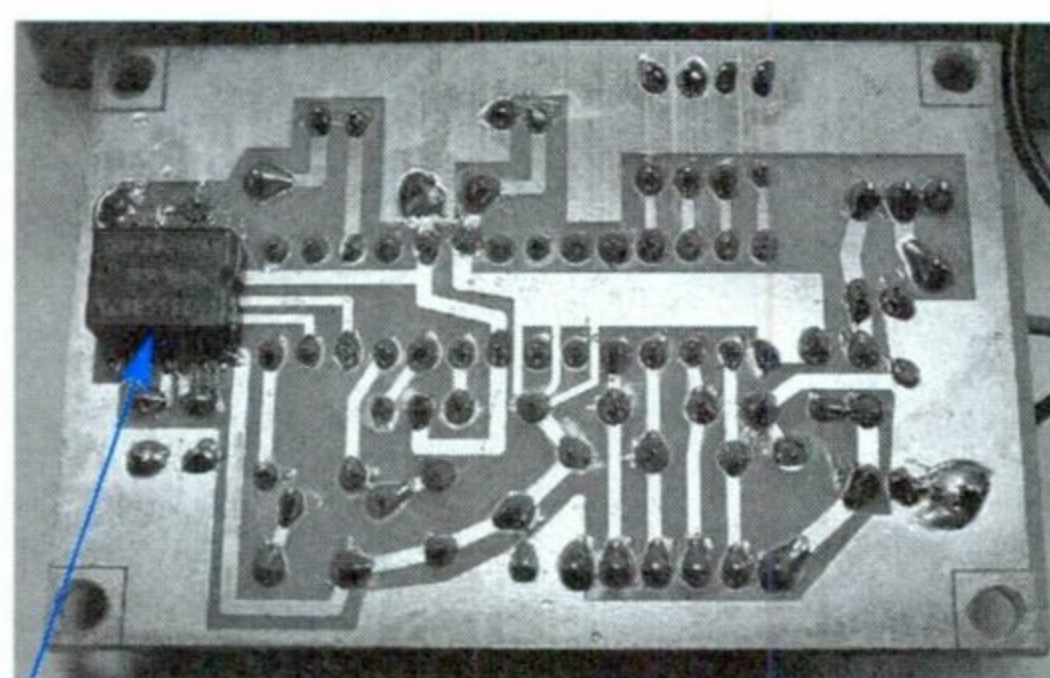
自動車のエアバッグ用衝撃検出、ロボットの姿勢制御、ゲームの加速度検出などに使われています。

◆表2.9.6　加速度センサの概略仕様

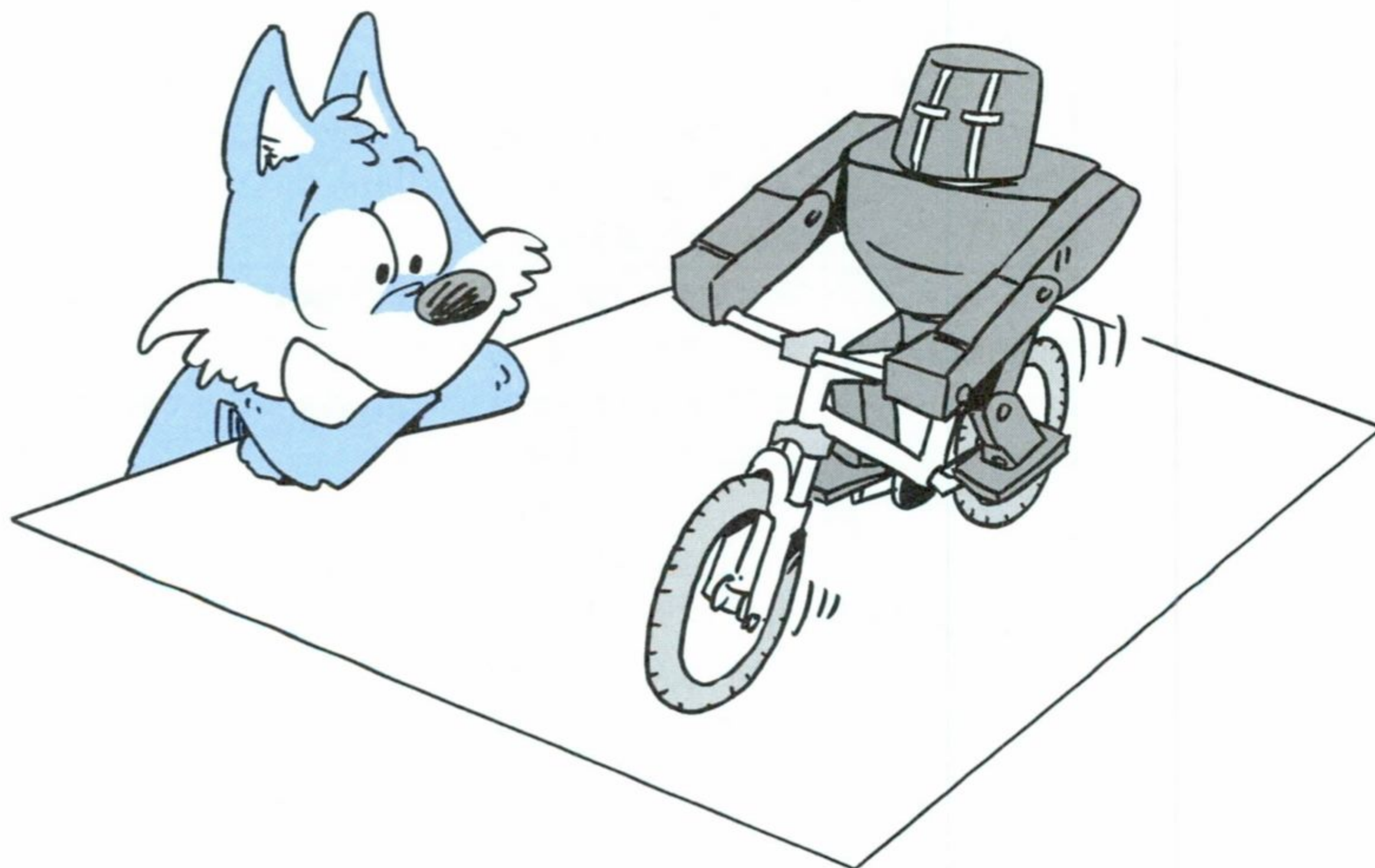
名称	概略仕様	原理他
ADXL202 (アナログデバイシズ)	**2軸加速度センサ** 出力：パルス幅 測定範囲加速度：±2g 分解能：5mg 応答速度：最大6kHz	ICに内蔵の可動板と固定電極間の容量変化を計測する。 ADXL311JEはアナログ出力タイプ
KXM52-1050 (KIONIX)	**3軸加速度センサ** 出力：アナログ出力660mV/g 測定範囲加速度：±2g 応答速度：最大3kHz(X,Y) 最大1.5kHz(Z)	IC内蔵のクリスタル振動子と固定電極間の容量により発振周波数が変動することで計測する。
APA300 (スター精密)	**3軸加速度センサ** 出力：アナログ出力 4.6mV/g（X,Y）3.9mV/g(Z) 測定範囲加速度：±50g 応答速度：最大1kHz	内蔵ピエゾセラミックの歪電圧を検出している。

代表的な加速度センサの外観を写真2.9.5に示します。

ADXL202　APA300　ADXL311JEを変換基板に実装したもの

◆写真2.9.5　加速度センサ

実際に加速度センサを利用したリモコン送信ユニットが写真2.9.6で、傾きにより無線でロボットの走行制御をします。

この部分の裏側に加速度センサが固定されている

基板裏面に直付けしたADXL202

送信機本体を傾けるだけでロボットの前進、後進、左右回転を制御できる

◆写真2.9.6　加速度センサを利用したリモコン送信ユニット

(3) 超音波センサ

超音波を出力し、その反射波が返って来るまでの時間を測定すれば、音速を基にした距離が測定できます。このように超音波を出力したり、音波を受けるためのセンサが**超音波センサ**です。ほとんどの製品が圧電セラミック振動子を使っていて、原理は電気振動と空気の振動、つまり音との相互の変換をします。40kHz前後の周波数に最も敏感に応答するように作られており、送信も受信もこの付近の周波数で動作させます。実際の超音波センサは写真2.9.7に示すようなもので、送信用と受信用が区別されています。

用語解説

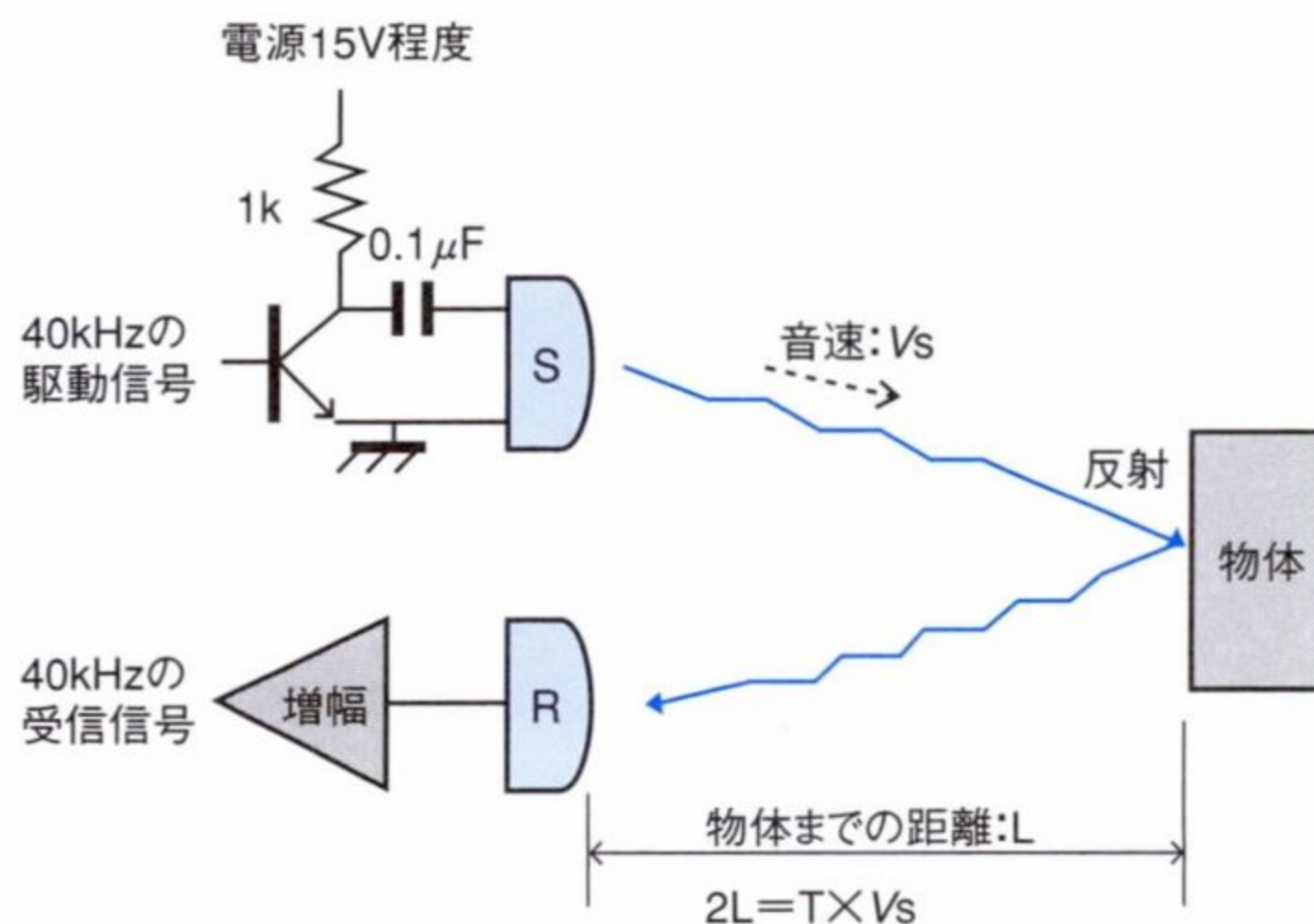
・超音波センサ
やや離れた物体や障害物に向けて超音波を出力し、その対象物からの超音波の反射を検知することで、物体の距離測定や、存在の認識に使われる。
部品の精度にもよるが、10cm～3mの距離を測定することができる。

◆写真2.9.7　超音波センサ

超音波センサで送信するときは、センサを10Vから20V程度の振幅の40kHzの交流信号で駆動します。通常は交流成分だけで駆動するようコンデンサを直列に挿入して駆動します。電流はわずかしか流れません。

受信側は数mVから数10mVの交流電圧出力となりますから、これをオペアンプの交流アンプで増幅してマイコンなどの入力信号とします。

■距離を測定する原理

距離を測定する原理はいたって簡単です。図2.9.6のように、まず超音波センサの送信側から短時間のパルス状の信号を送り出します。信号は物体まで進み、物体で反射されて戻ってきます。戻ってきた信号を受信用の超音波センサで検出します。

◆図2.9.6　距離測定の原理

送り出した信号は「音速：Vs」の速さで進むわけですから、「物体との距離：L」は戻ってくるまでの時間をTとすると、

$$T = 2L / Vs$$

で表すことができます。また音速は、

$$Vs = 331.5 + 0.6t \text{〔m/sec〕} \quad t\text{：室温〔℃〕}$$

ですから、室温を25℃と決めてしまうと、約Vs=340m/secとなります。

したがって音が1cmの距離を往復するのにどれくらいかかるかを求めると、

$$Tc = 2 \div 34000 \text{〔秒〕} = 58.824 \text{〔}\mu\text{ sec〕}$$

となります。この1cmの距離の往復にかかる時間を単位にして距離を測定します。

2-9-6 制御用デバイス

ロボットを操作したり、動かすために必要なデバイスがあります。ここではそれらの中でも代表的で、よく使われるものについて説明します。

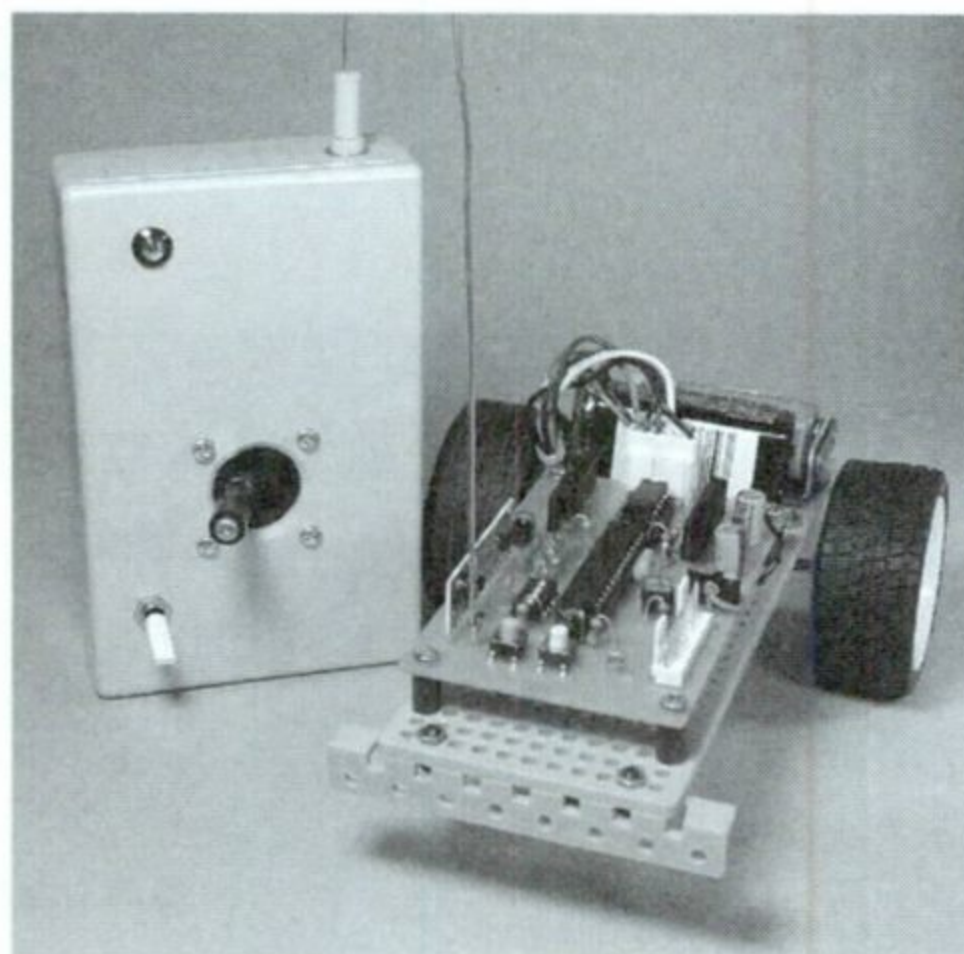
(1) ジョイスティック

レバー操作で前後左右自由に操作できるようにした操作用のデバイスで、写真2.9.8のような外観をしています。動作原理は、直角方向に配置された2個の可変抵抗が、操作レバーに連動して動くことで、XとY軸の操作量がレバーの位置に比例して出力されるようになっています。小型のものから大型のものまで各種が市販されています。写真は実際にロボットのリモコン操作用に使った例です。

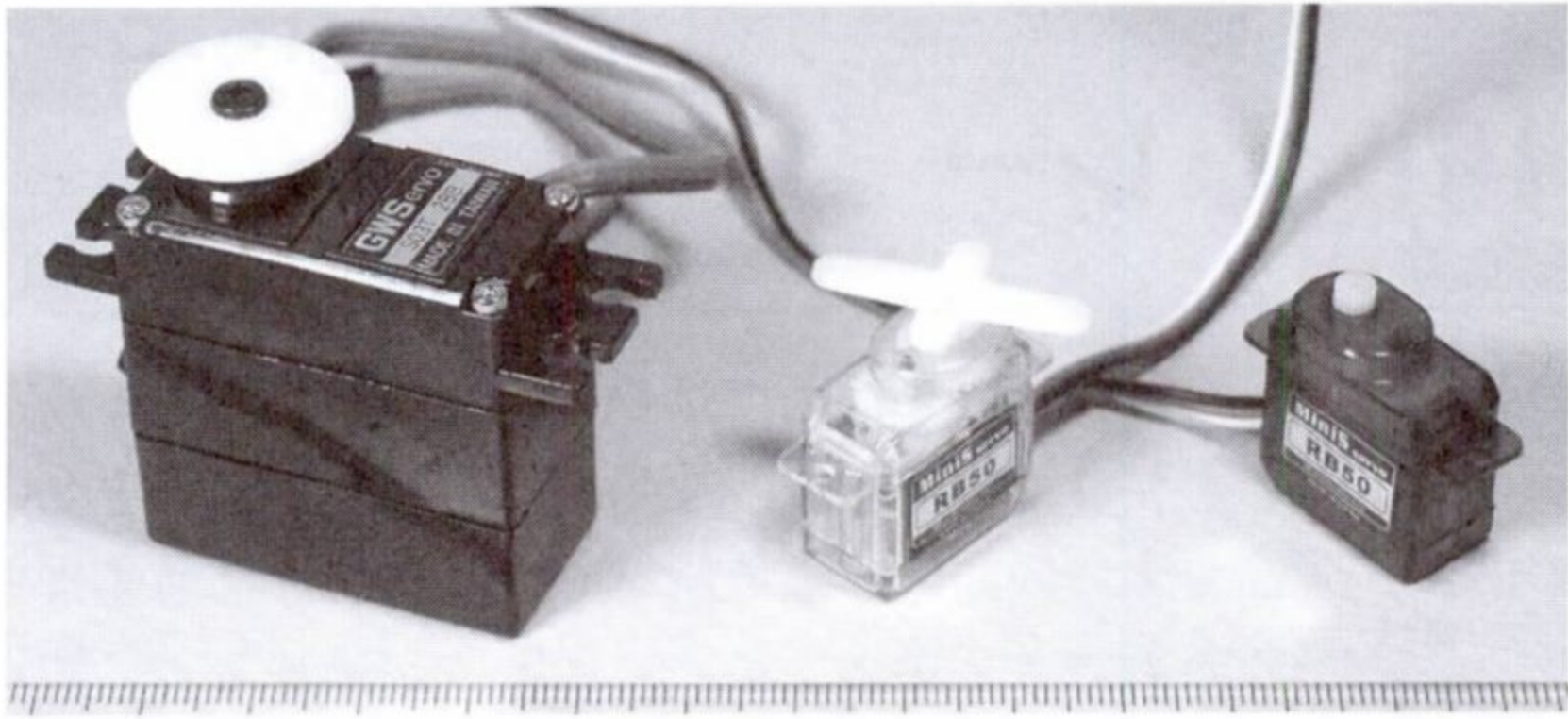
〔操作レバー〕
手を離すとばねで中心に戻る

ジョイスティックの実際の使用例

〔XとY方向の可変抵抗〕
軸がレバーと連動して回る

◆写真2.9.8　ジョイスティック

参考
写真はジョイスティックとジョイスティックを送信機に組み込んだ使用例です。

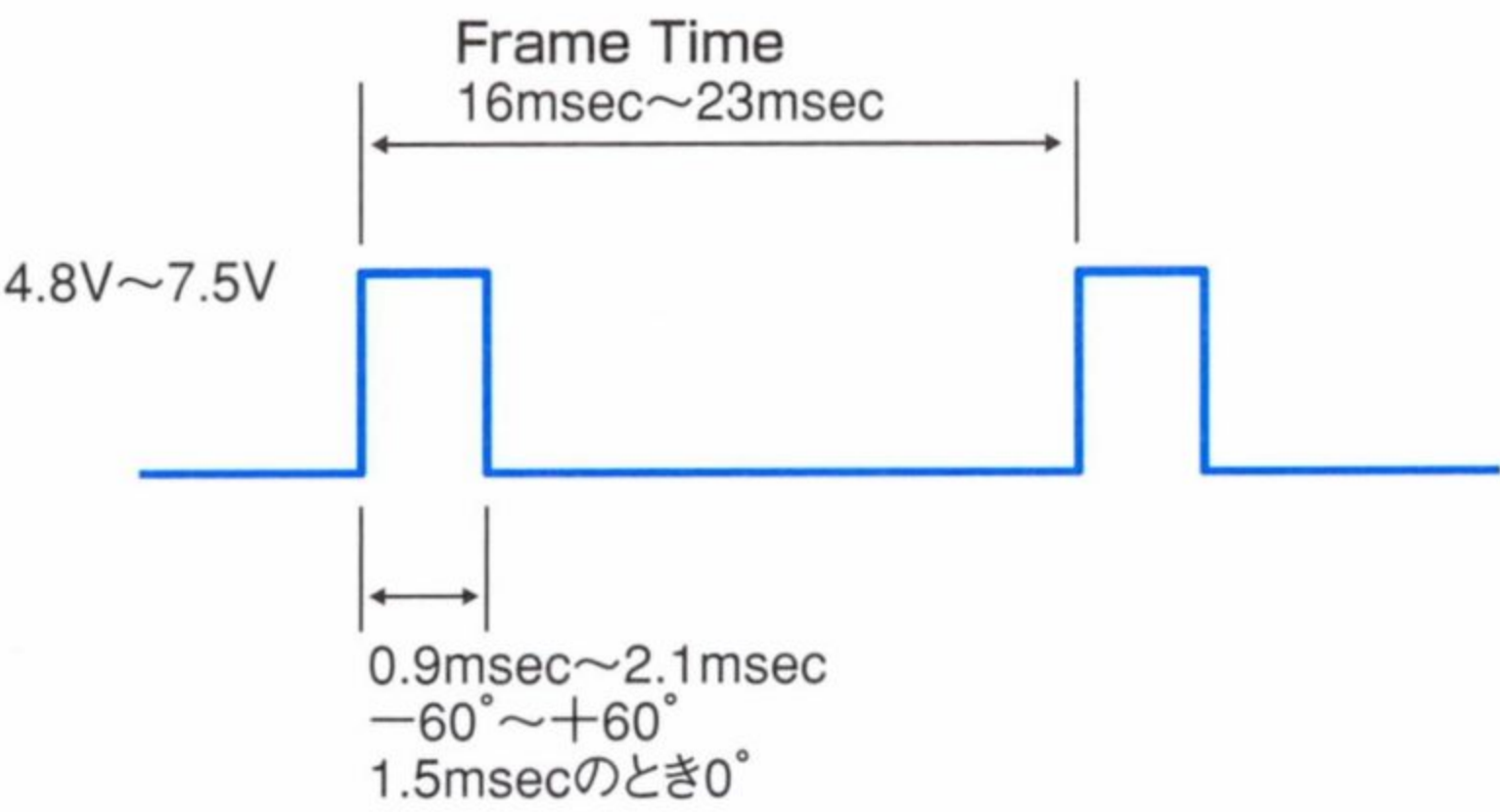
(2) RCサーボモータ

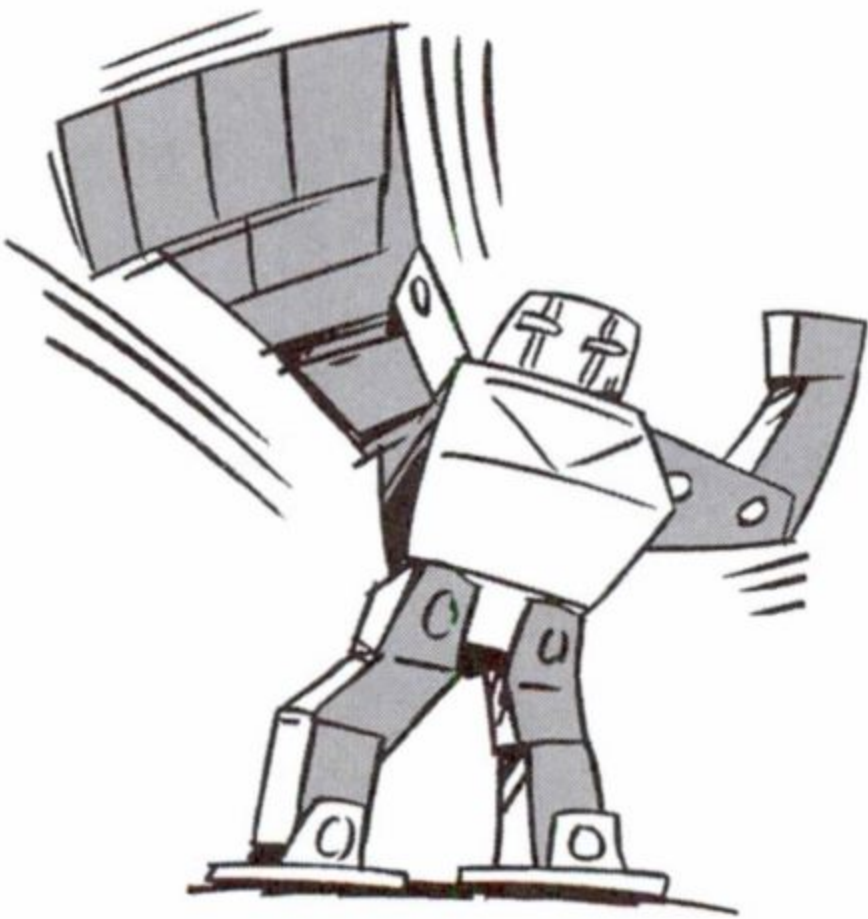
ラジコン用のサーボ装置として作られたもので、ラジコンの制御はもちろんのこと、ロボットや制御装置など多くのところで使われています。外観は写真2.9.9のようになっており、大きさや性能により多くの種類があります。内部は小型モータとギアで構成されており、小型でも強力なトルクを持っていて大きなものを動かす力があります。

◆写真 2.9.9　RC サーボの例

用語解説

・RC サーボモータ
ラジコンの位置制御に使われるサーボモータで、入力のパルス幅に比例した角度に軸が回転して位置を保持するモータ。

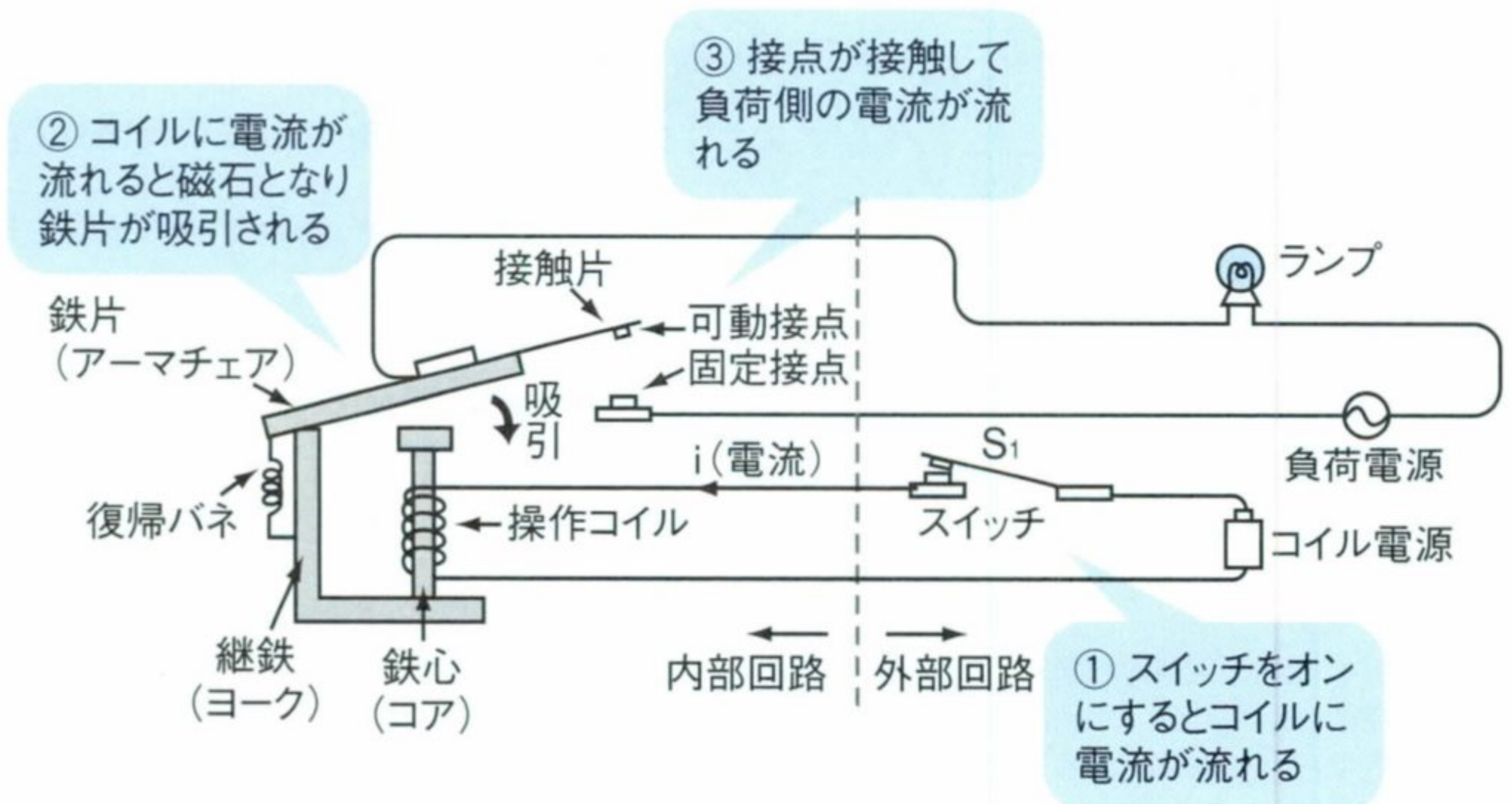
実際にRCサーボを動かすためには、電源と図2.9.7のようなパルスを供給します。これでパルスの幅に比例した回転角まで回って停止します。このパルスが連続で供給されていれば、指定位置で停止させるよう動作するので、停止させて支える力も大きくなります。

Frame Time
16msec～23msec
4.8V～7.5V
0.9msec～2.1msec
－60°～＋60°
1.5msecのとき0°

パルス幅	軸回転角度
0.8-0.9ms	右まわりの限界範囲
0.9ms	＋60°±10°（右まわり）
1.5ms	0°（中央）
2.1ms	－60°±10°（左まわり）
2.1-2.2ms	左まわりの限界範囲

◆図 2.9.7　RC サーボの入力と軸回転角

2-10 リレー

用語解説

・リレー
継電器。電気接点を開閉することで、電気回路に接続した装置を制御する装置。

半導体全盛の最近では珍しくなってしまいましたが、これまでコンピュータなどを使って外部の機器を動かすときには、必ずといってよいほど使われてきた部品です。回路図原理は簡単で、図2.10.1に示すように、コイルによる電磁石と鉄片からできていて、コイルに電気が流れると、鉄片が吸い寄せられてスイッチがONとなり、負荷側の電気が流れるという簡単なものです。

◆図2.10.1　リレーの原理（OMRONテクニカルガイドより）

リレーが外部機器制御用として多用されてきたわけは、コイル部分と接点部分が完全に絶縁されていることで、電気的にコンピュータと外部機器を絶縁して扱えることと、わずか数Vで動作しているコンピュータでも、数百Vの電気をON／OFFできるということにあります。しかし、それでもリレーには大きな欠点がいくつかあります。

① 動作が遅い

高速なものでも数msecの時間を必要とします。これは機械的な機構ですから仕方がありません。

② ノイズが出る

接点が接触する瞬間に電気火花が出ますから、当然その影響でノイズが発生します。この火花をできる限り少なく抑える工夫がいくつかあり、バリスタなどによる**スパークキラー**が代表的な例です。

用語解説

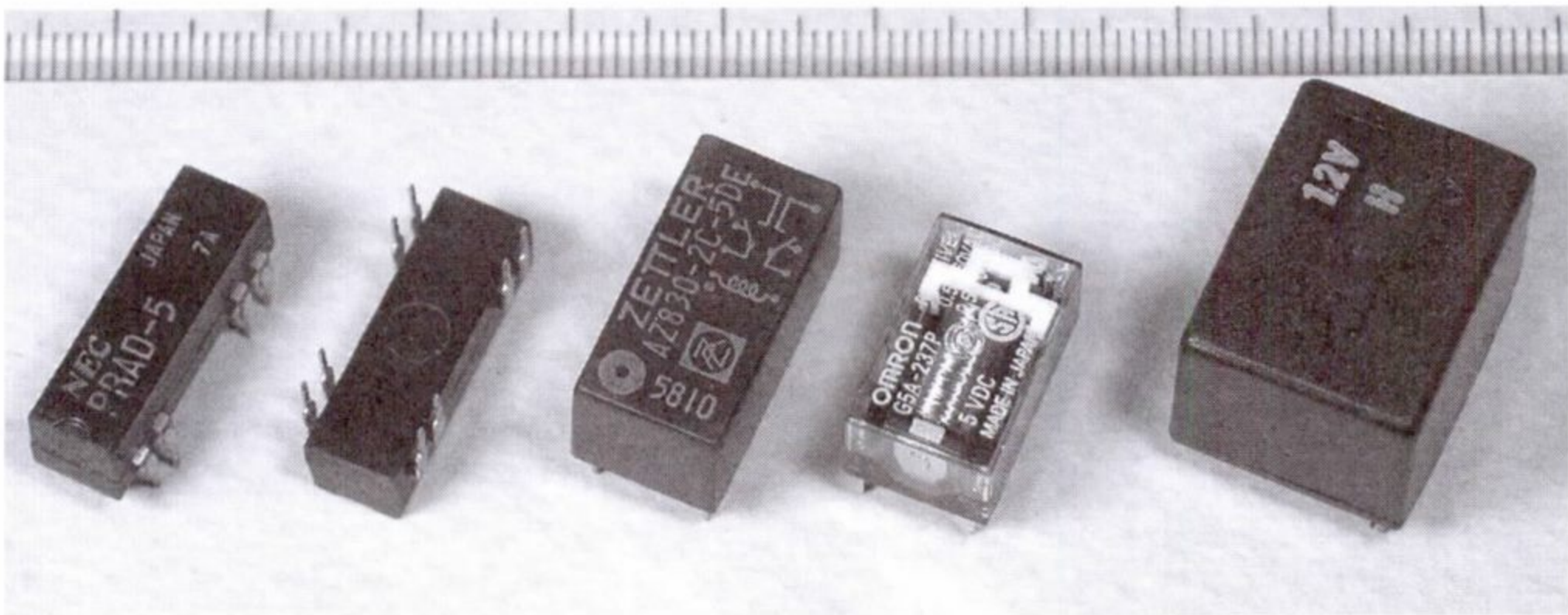
・スパークキラー
逆起電力、接点火花を防ぐ装置。

しかし、これらの欠点も半導体によるリレーの出現で解消されつつあります。つまり**ソリッドステートリレー**とか、**フォトMOSリレー**とか呼ばれるもので、フォトカプラと同じ原理で出力側にトライアックや大負荷用MOSトランジスタを使って、大電流や交流を扱えるようにしたものです。

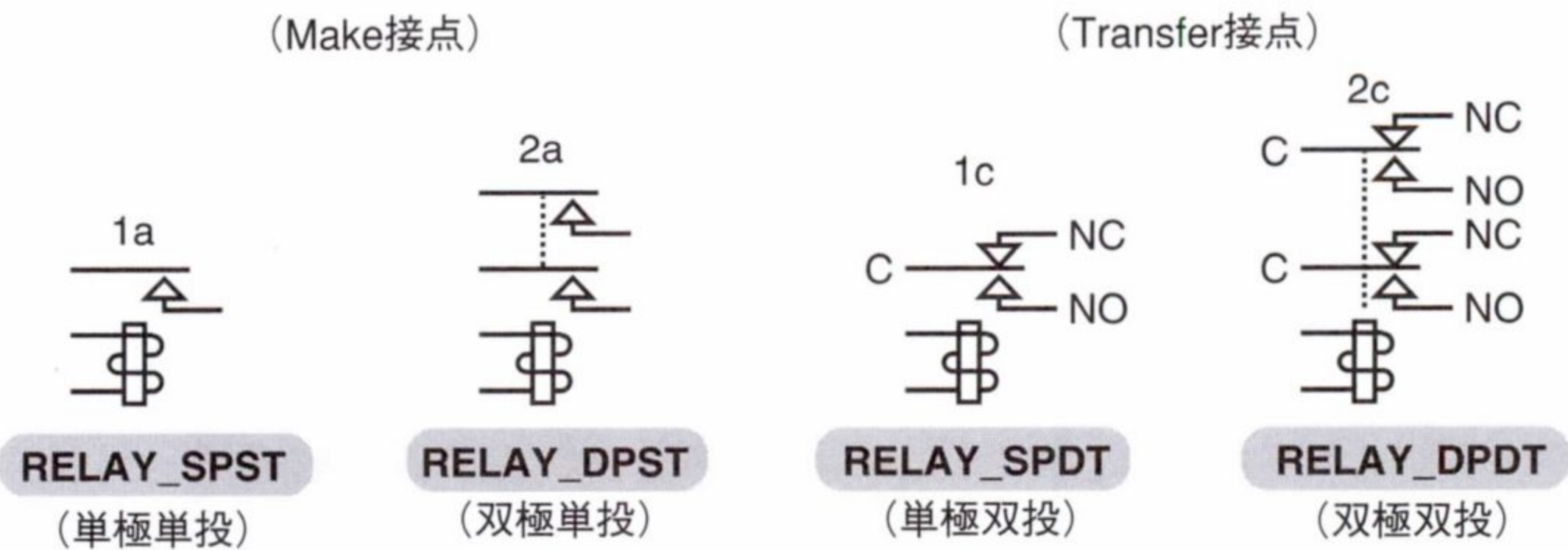
参照
・フォトMOSリレー
→ p.124

2-10-1 メカニカルリレー

メカニカルリレーは、励磁コイルに直流電流を流して接点をON／OFF制御するものの総称で、長く使われてきた歴史がある部品で、種類もたくさんあります。しかしここでは基板実装タイプを主に説明していきます。

実際のリレーの外観は写真2.10.1のようなものです。

◆写真2.10.1　リレー外観

接点の許容電流によって大きさにもいろいろあります。また1接点だけでなく、複数接点が同時に動くようになったリレーもあります。回路図記号は図2.10.2のように描くのが一般的ですが、接点とコイルを分離して描く場合もあります。図では、接点構成がMake（記号aで表す）だけのものと、Make Before Break（またはTransfer）（記号cで表す）の各々1接点のものと2接点のものの例です。

（Make接点）　（Transfer接点）
1a　2a　1c　2c
RELAY_SPST（単極単投）　RELAY_DPST（双極単投）　RELAY_SPDT（単極双投）　RELAY_DPDT（双極双投）

◆図2.10.2　リレーの回路図記号

また表2.10.1は、プリント基板実装タイプのメカニカルリレーの規格表の例です。この中で注意すべきは、接点の最大開閉容量で、交流負荷の場合（VAで表現）と直流負荷の場合（Wで表現）では大きく異なります。

◆表2.10.1　リレーの規格表の例（NECデータシートより）

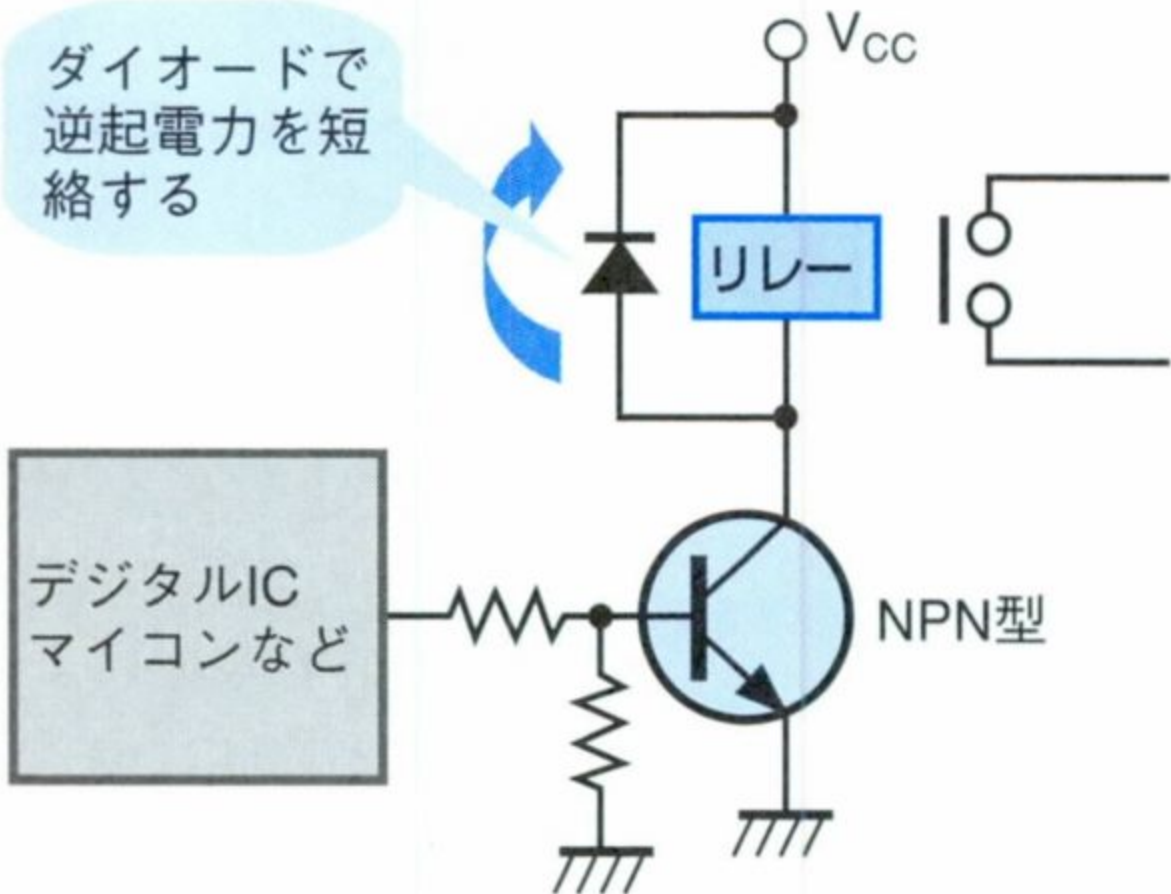
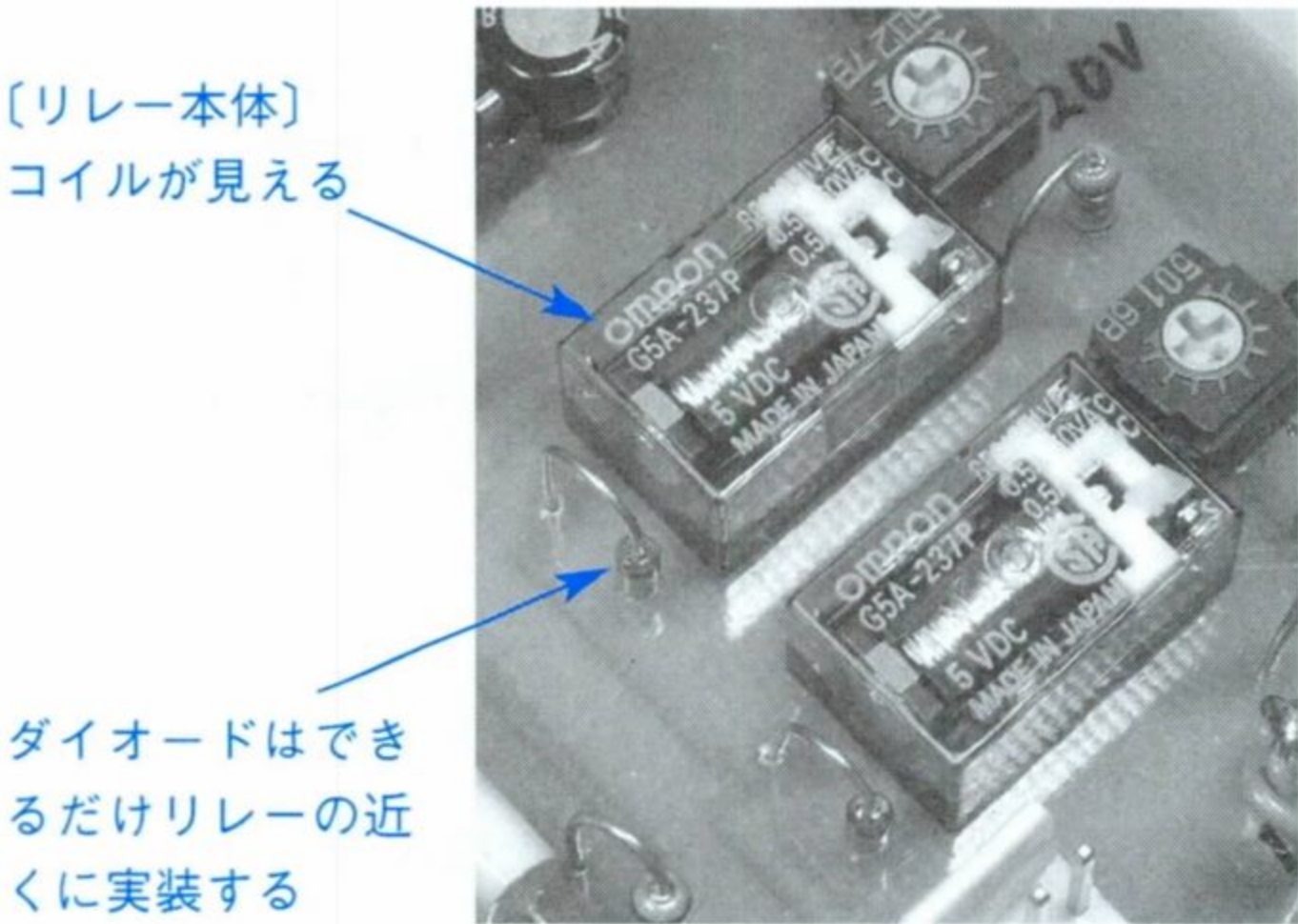
型名	MR62	EC2	EA2	MRA301
特徴	小型リレーのスタンダードタイプ	小型スリムタイプ	フラットタイプ	家電用パワーリレー
接点構成	2c	2c	2c	1c
最大開閉電流	2A	2A	1A	5A
最大開閉電圧	220V DC 250V AC	220V DC 250V AC	220V DC 250V AC	30V DC 250V AC
最大開閉容量	60W・125VA	30W・125VA	30W・62.5VA	150W・600VA
コイル定格電圧	5,6,9,12,24,48VDC	3,4.5,5,6,9,12,24VDC	3,4.5,5,6,9,12,24VDC	3,5,6,9,12,24V DC
定格消費電力	約550mW	100〜230mW	100〜200mW	360mW

これらのリレーを使うときに注意しなければならないことがいくつかあります。

■コイルの逆起電力対策

アドバイス

ダイオードを並列に挿入し、逆起電力を吸収する。

励磁(れいじ)コイルは電流をOFFしようとする瞬間には大きな逆起電力(ぎゃくきでんりょく)を発生します。これをそのままにしておくと、励磁コイルをドライブしている半導体を壊したり、ノイズで近くの回路の誤動作を引き起こしたりします。そのため、逆起電力を抑制するために、図2.10.3のようにコイルにダイオードを並列に挿入して、逆起電力を吸収して影響が出ないようにします。これで効果的に逆起電力をなくすことができます。写真2.10.2が実際の使用例です。

◆図2.10.3　逆起電力対策

◆写真2.10.2　ダイオードによる逆起電力対策例

■接点の火花対策

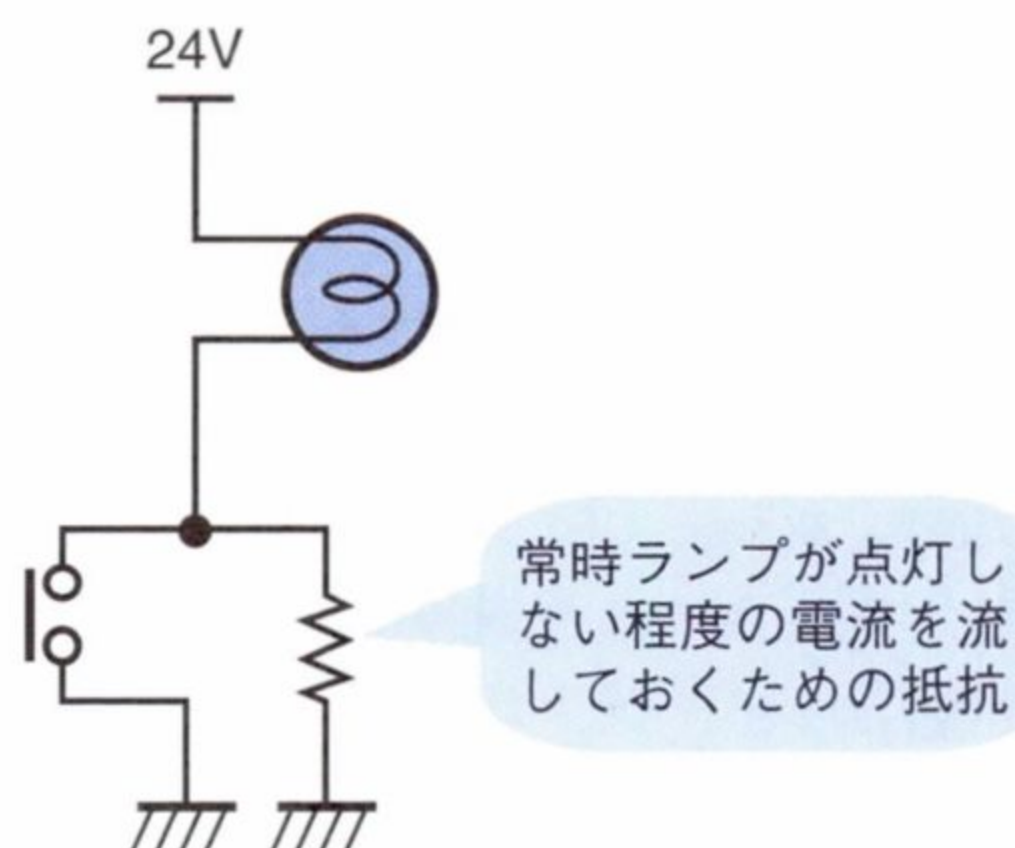
これは最近ではあまり見かけなくなりましたが、接点でAC100VなどをON/OFFするときには、接点に火花が飛びます。火花によるノイズは結構強力で、電子回路の誤動作を簡単に引き起こしてしまいます。そのため少しでも接点の火花を吸収するため、接点に並列にスパークキラーを実装します。スパークキラーとしては**バリスタ**などが使われますが、使用する電圧の最高電圧に合わせてバリスタを選択する必要があります。つまり、AC100VのON／OFFに使うときにはピーク電圧を考慮して、160V以上の電圧規格のものを選択する必要があります。

用語解説
・バリスタ
電圧可変抵抗器。静電気、火花などから回路を保護するときに利用する。

参照
・バリスタを使った例
→ p.275

■ランプの突入電流対策

ランプを接点で点灯制御する場合、ONにする瞬間には、ランプの抵抗が非常に小さいため点灯時の数十倍の大電流が流れます。その電流が接点の許容電流値を超えていると何回かON／OFFしている間に接点が溶着してしまう場合があります。

これを回避するためには、ランプの特性として、ランプのフィラメントの温度が上がれば抵抗値が増加して突入電流は避けられるので、図2.10.4のように接点と並列に抵抗を接続して、常時ランプが光らない程度の電流を流しておき突入電流の影響を回避します。

◆図2.10.4　ランプの突入電流対策

2-10-2 半導体リレー

最近では、リレーにも半導体が使われるようになってきました。**半導体リレー**は全て発光ダイオードを内蔵しており、光を間に入れて電気的な絶縁を確保しています。さらにAC電源を制御するための半導体リレーは、2次側にはサイリスタやトライアックという半導体が使われていて、**ゼロクロススイッチ機能**が実装されているものも多く、ノイズの発生のない無理のないON／OFF制御が可能となっています。写真2.10.3は代表的な半導体リレーの例です。

用語解説
・サイリスタ
電力制御用の半導体素子（スイッチング素子）。SCR（シリコン制御整流素子）とも呼ばれる。

SCR

参考

半導体リレーには、ソリッドステートリレー（SSR）、フォトMOSリレー（フォトトライアック）などがある。

写真2.10.3：左 TLP560G（フォトトライアック）

写真：右 S112S01（SSR）

◆写真2.10.3　ソリッドステートリレーの例

(1) ソリッドステートリレー（SSR）

半導体で構成されたリレーで、原理はフォトカプラと同じで発光ダイオードと光トリガータイプの**トライアック**を向かい合わせにして**モールド**したものです。トライアックですから、ゼロクロススイッチ回路を加えてAC電流をゼロクロスでON/OFFできるようになっています。小型でしかも絶縁機能はそのままに、火花が出ないという最大のメリットがあるため、リレーに代わって使われています。写真2.10.3の右側がSSRの例です。ハイブリッドICでゼロクロス回路などを組み合わせている種類もあります。

(2)フォトMOSリレー（フォトトライアック）

フォトカプラと全く同じ構成で、フォトセルと発光ダイオードを向かい合わせてモールドし、フォトセルにはMOS型FETが内部で接続構成されています。MOS型FETには400V以上の耐圧のものもあり、高圧高電流の制御もできます。写真2.10.3の左側が、代表的な**フォトMOSリレー**です。小型でも大きな電圧を制御することが可能です。

用語解説

・ゼロクロススイッチ回路
電圧がゼロのときにスイッチングを行えるようにした回路。突入電流や逆起電力が発生しないので、ノイズの発生を最小限に抑えることができる。

・トライアック
双方向サイリスタ。ゲートとカソード間にいったん電流を流すと、アノードとカソード間が導通し、導通はアノードとカソード間の電位差が一定値以下にならないとオフにならない。この特性を利用して交流信号のオン／オフ制御に使われる。

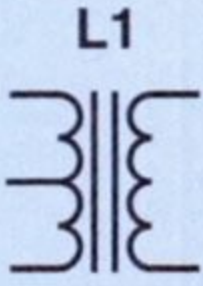
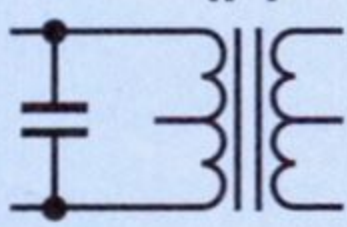
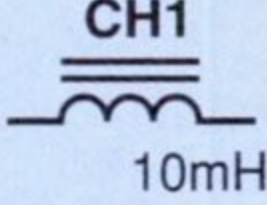
・モールド
樹脂でカバーすること。

参照

・トライアックの基本動作 → p.271

2-11 コイルとトランス

用語解説

・インダクタンス
コイルの高周波信号の通りにくさ、つまり抵抗をインダクタンスと呼ぶ。単位はH（ヘンリー）。
【参考】
μH：1／10^6（マイクロヘンリー）
mH：1／10^3（ミリヘンリー）

コイルとトランスはいずれも銅線をぐるぐる巻いたものという意味で同類に属しています。しかし特性は大きく異なり、使い方も全く違います。しかし、いずれも**インダクタンス**という単位で大きさを表し、原理も「電磁誘導（でんじゆうどう）」を使っているという意味では同じ動作をします。

小さなインダクタンスのコイルは空芯で銅線を巻くだけでもできますが、多くはそれではできない大きさのインダクタンスなので、ケイ素鋼板やフェライトなどの磁性体に銅線を巻いて作ります。

2-11-1 コイルの種類

コイルを特性などで分類すると表2.11.1のようになります。回路図に使われる記号は表のものがよく使われます。

◆表2.11.1　コイルの種類と用途

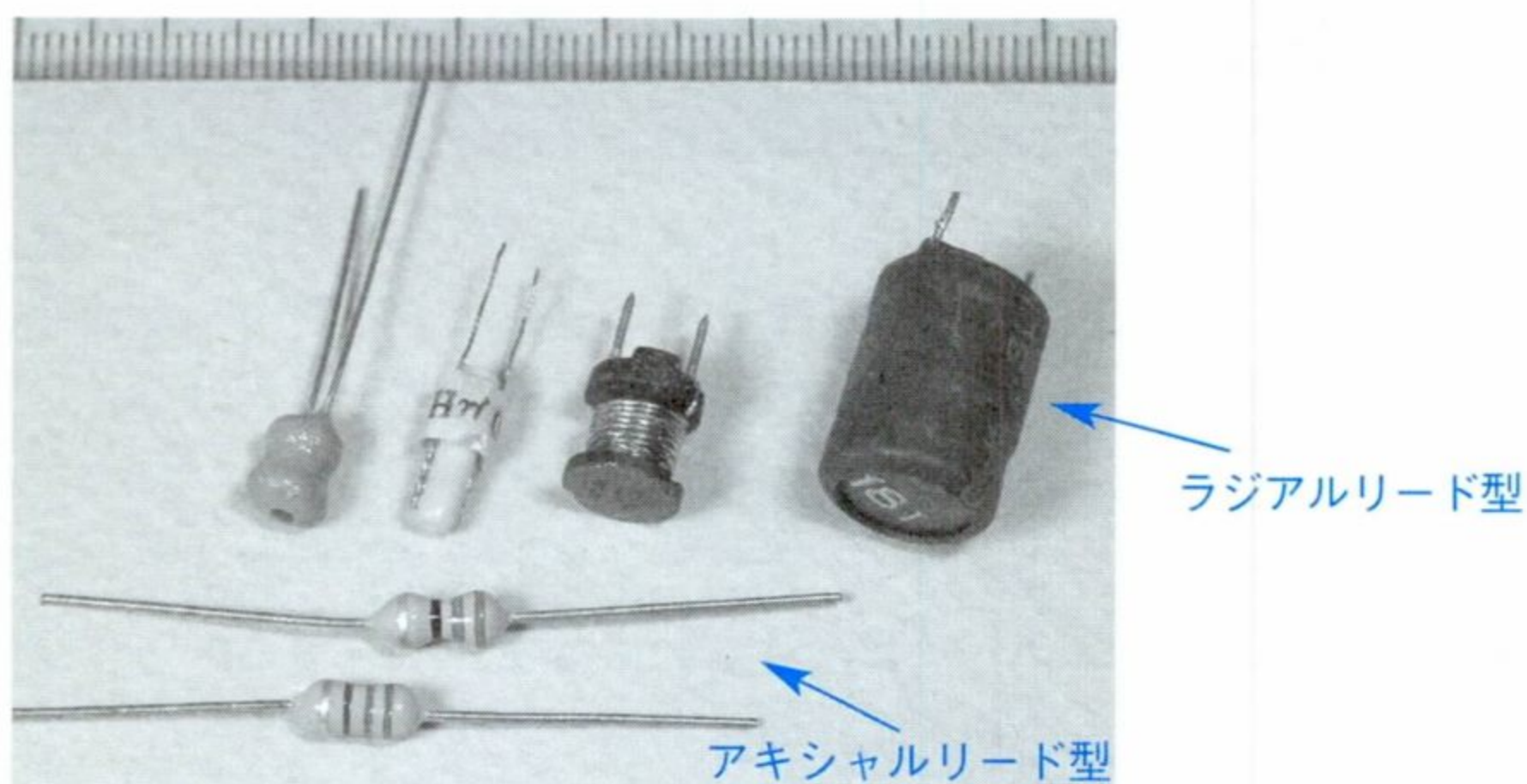
回路図記号	略号	名称	特徴
RFC2 10μH	RFC、L	RFC	高周波に対して抵抗の働きをし、高周波を減衰させるのに使う高周波用フィルタ。
L1	L	高周波同調コイル	コイルとコンデンサを並列接続し、ある一定の周波数に同調して信号を取り出すために使う。TVやラジオの同調回路など。
IFT	IFT	段間トランス	特定の中間周波数に合わせた同調用コイルで特定周波数のみ通過させるフィルタとして使う。
L1	L	バーアンテナ	同じく同調用だが、コアを特別に長くしてアンテナと同等の特性を持たせたもの。バリコンと組み合わせて携帯ラジオに使う。
CH1 10mH	L	電源用チョークコイル	低周波に対しても、特に大きなインダクタンスを持つようにして、電源ノイズ防止用のフィルタや、平滑回路のフィルタに使う。

用語解説

・チョークコイル
高周波に対して抵抗の働きをし、高周波を減衰させるのに使う。高周波用フィルタ。

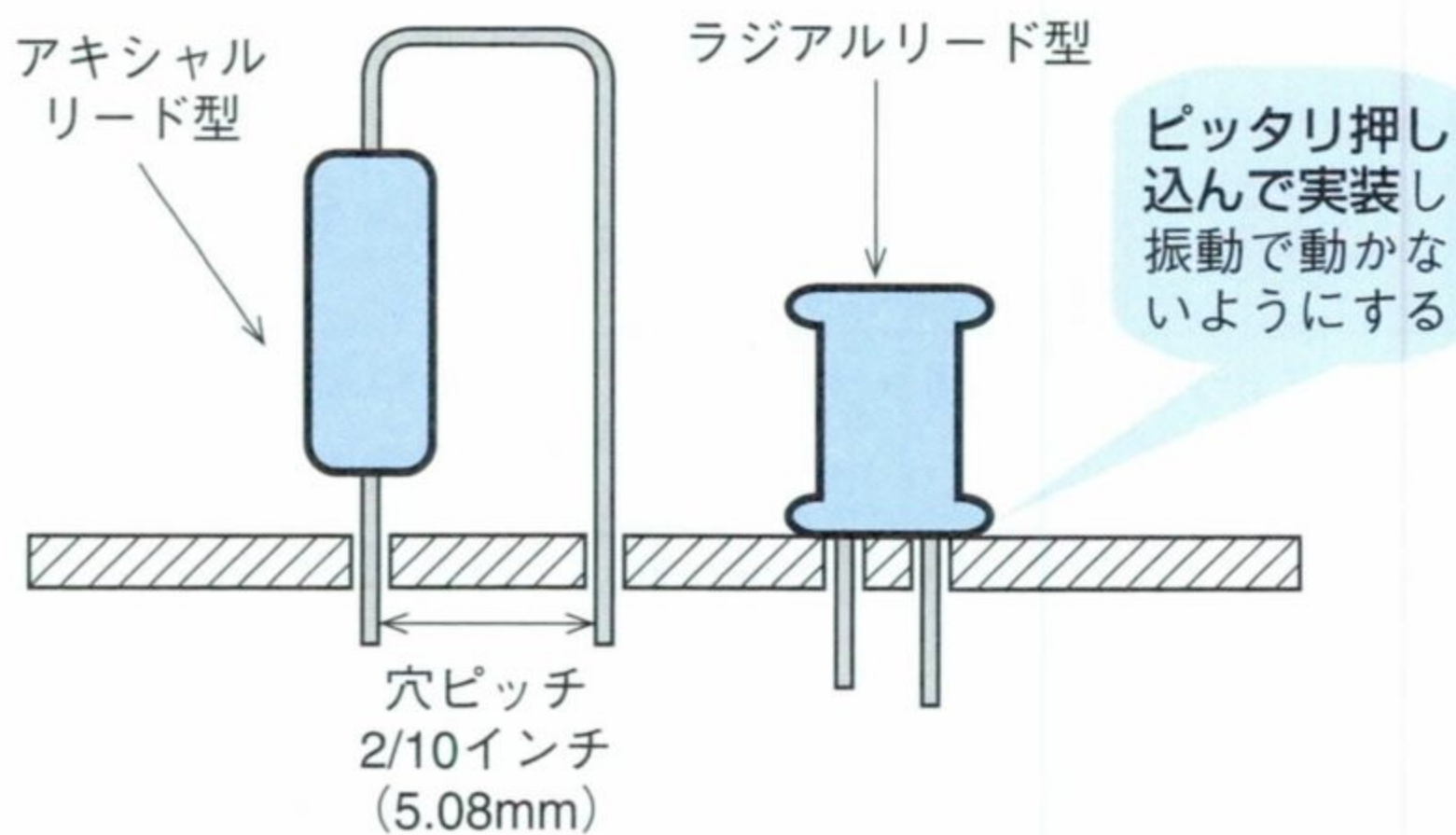
(1) 高周波チョークコイル（RFC）

単純な高周波用のフィルター用コイルです。種類は多く、写真2.11.1のようにいろいろな形のものがあります。コイルとしては単純で、フェライトコアに巻線をしたものです。インダクタンス範囲としては、数μH（マイクロヘンリー）から数mHです。数μ

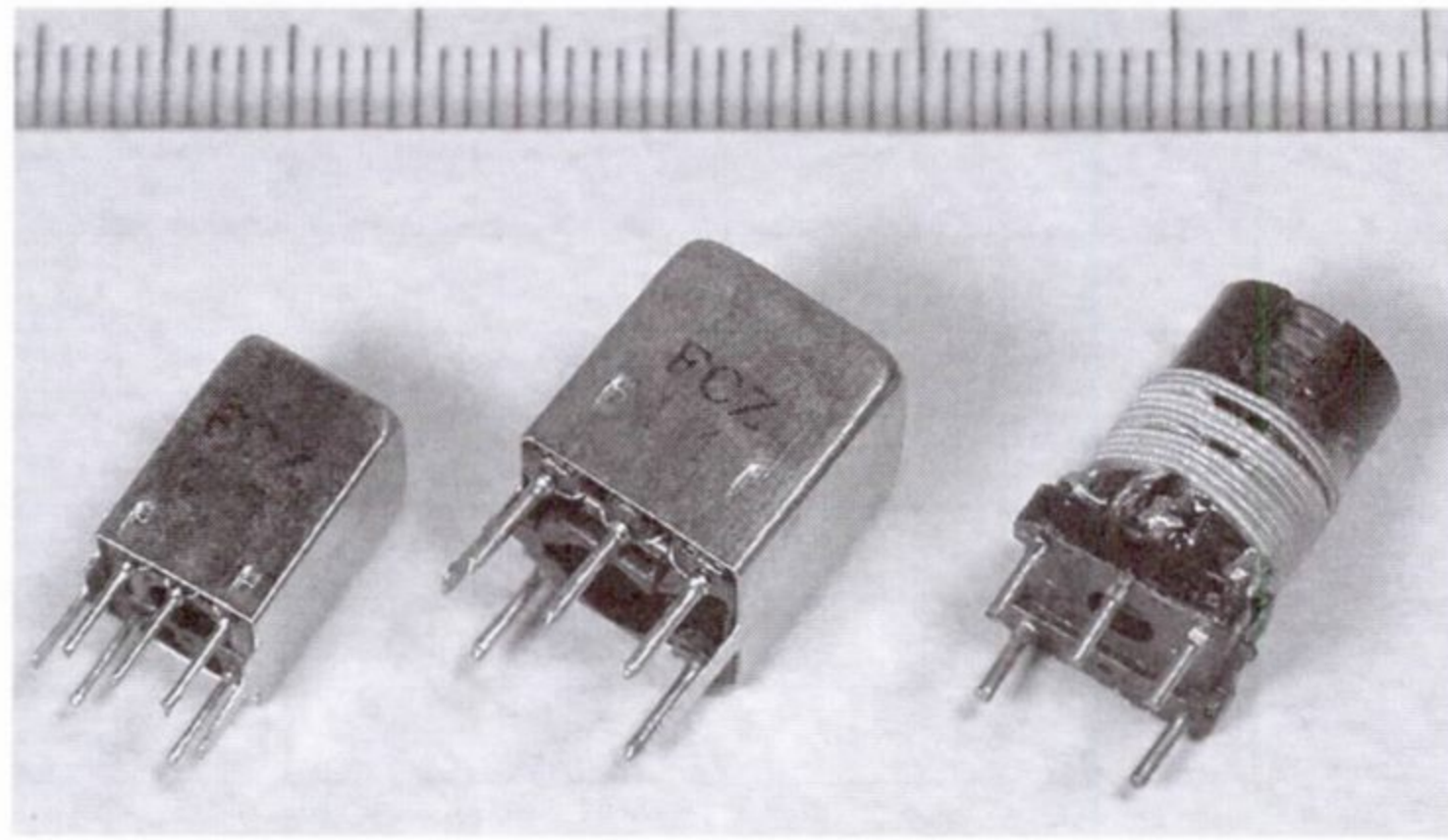
H以下のものには空芯のものもありますが、通常はコアが使われています。

◆写真2.11.1 RFCコイルの外観

常識
ラジアルリード型を基板に取り付けるときは、基板にピッタリ付くようにする。浮かすと振動でインダクタンスが変動し、ノイズや不安定な動作を引き起こすことがある。

コイルの取り付けには、特別なことはなく、抵抗やコンデンサと同じに扱えば問題ありません。ただしラジアルリード型のものを基板に取り付けるときには、図2.11.1のようにあまり浮かさない方がよく、浮かすと振動でインダクタンスが変動し、ノイズや不安定な動作を引き起こすことがあります。高周波回路で特に振動の多い環境で使う場合には、接着剤で固定することもあります。

最近のスイッチング電源は、スイッチング周波数が高くなったため、その出力にRFCが使われます。この場合には、コイルに大電流が流れますから、許容電流に注意して使う必要があります。

◆図2.11.1 RFCコイルの取付け方

(2) 高周波同調用コイル(FCZ)

高周波回路で特定周波数の信号伝達を効率よくする目的で使われるコイルです。よく使われるものに**FCZコイル**と呼ばれるものがあります。写真2.11.2が同調用コイルの代表的なものです。写真で金属ケースに入っているのがFCZコイルです。巻線が直接見えている方は、最近では見かけなくなってしまいましたがモノコイルと呼ばれ、特定の周波数用の発振出力用に作られたものです。FCZコイルには写真のように10mm角と7mm角の2種類があります。5mm角というのもありますが、私たちの工作にはちょっと使いにくいので省略します。

7mm□FCZコイル　10mm□FCZコイル　モノバンドコイル

◆写真2.11.2　FCZコイルとモノコイルの外観

FCZコイルで標準として用意されている周波数は表2.11.2となっていますので、この中から適当なものを選択して使います。

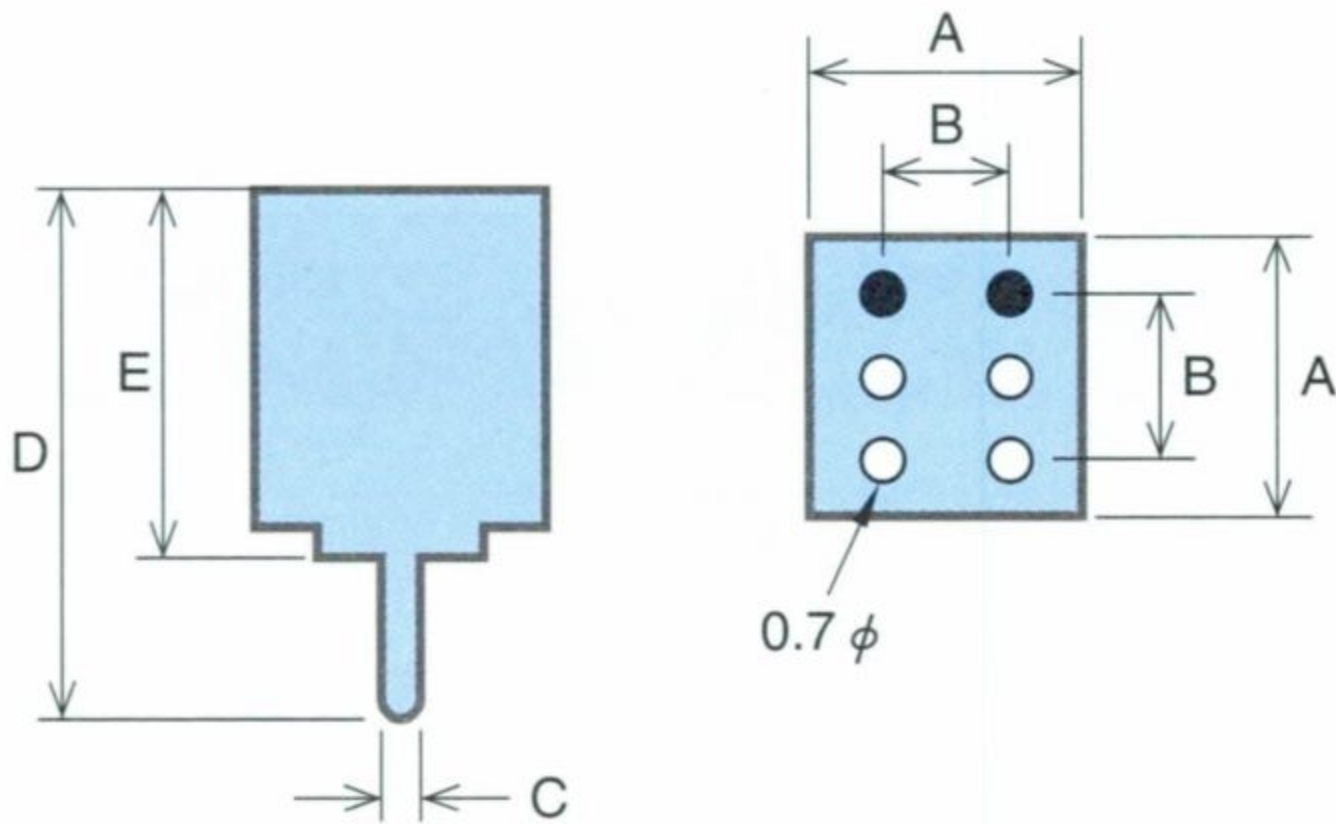
◆表2.11.2　FCZコイル一覧

周波数 MHz	10mm角タイプ		7mm角タイプ	
	同調容量pF	Q	同調容量pF	Q
1.0	820	75	820	100
1.9	390	85	390	75
3.5	220	70	180	75
5	150	80	150	70
7	120	80	100	50
9	100	80	82	70
14	68	75	68	65
21	39	95	(25MHz+47pF)	70
28	33	70	(25MHz+33pF)	55
50	15	100	15	45
80	7	45	10	80
144	5〜7	50	5〜7	60

自分が使いたい周波数にぴったりのものがないときは、近い値のものを選択して、並列に接続する**コンデンサとコアの抜き差しで調整**して合わせます。コンデンサの値の目安は表2.11.3でつけることができると思います。この表は、もともとの周波数を他の周波数へ利用するときに、付け替えるコンデンサの値の目安を示したものです。

◆表2.11.3 FCZコイルの他の周波数帯への応用

応用する周波数	10mm角タイプ		7mm角タイプ	
	コイル	同調容量	コイル	同調容量
3.8	3.5	180	3.5	150
10	9	82	9	68
18	14	39	14	39
21			25	47
24	21	33	25	39
28			25	33

FCZコイルの外形寸法は図2.11.2のようになっており、基板実装には寸法がインチサイズでないことと、ケースの足を挿入しなければならないため、ちょっと面倒な穴あけが必要です。

記号	7mm角タイプ	10mm角タイプ
A	7.2	10.0
B	4.5	7.0
C	1.0	1.5
D	15.3	16.5
E	12.0	12.0

◆図2.11.2 FCZコイルの寸法

穴あけ寸法は図2.11.3のようにします。また**ケースはグランドに接続するようにし、入力側と出力側のシールドも兼ねてグランドパターンを図のように端子の間を通過するように作成**します。ケースの足の穴あけ工作は、図のように1mm φ程度の丸穴を連続していくつかあけ、穴の間をカッターナイフでつなげて削り落とし、長方形の穴とします。

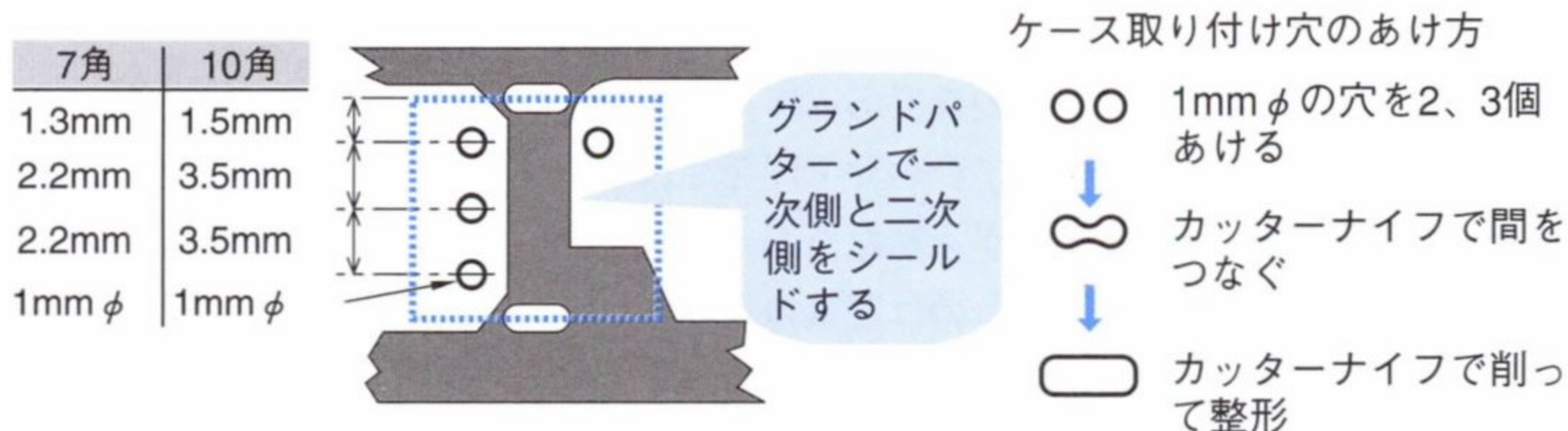
7角	10角
1.3mm	1.5mm
2.2mm	3.5mm
2.2mm	3.5mm
1mm ϕ	1mm ϕ

グランドパターンで一次側と二次側をシールドする

ケース取り付け穴のあけ方

1mm ϕ の穴を2、3個あける

カッターナイフで間をつなぐ

カッターナイフで削って整形

◆図2.11.3　FCZコイルの外形寸法と取り付け方法

1
2
3
4
5

用語解説

・**中間周波数同調用コイル**
455kHz（AMラジオ用）か10.7MHz（FMラジオ用）の周波数用。

常識

コイルを調整する際は、調整用ドライバ（p.268参照）を使用する。

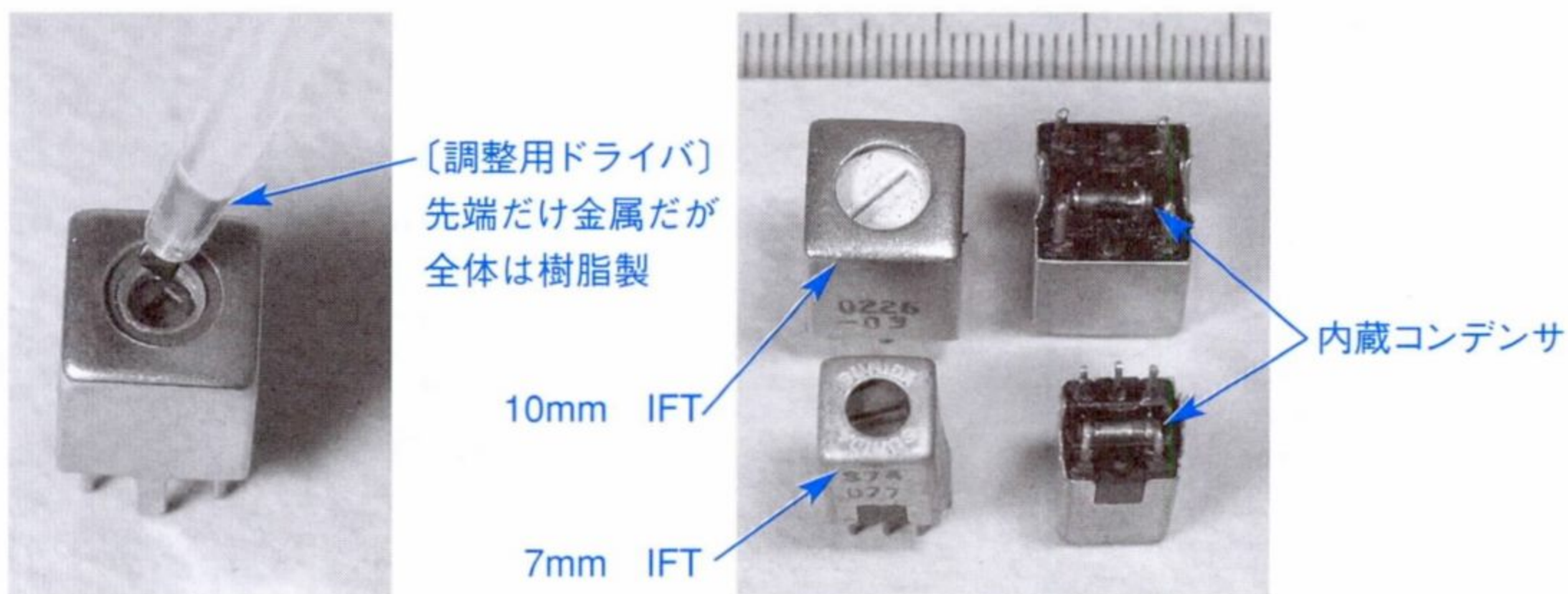
(3) 中間周波数同調用コイル（IFT）

IFTと呼ばれるコイルで、FCZコイルと同様に金属ケースに入っています。中間周波数として使われる455kHz（AMラジオ用）か10.7MHz（FMラジオ用）に決まった周波数用になっていて、その周波数に同調するコンデンサがあらかじめ接続されて内蔵されています。写真2.11.3がIFTの外観で、写真のように、IFTにはコンデンサが底面に取り付けられているのがわかります。またIFTにも10mm角と7mm角の2種類があります。

455kHz用のIFTはスーパーヘテロダイン方式のラジオ用として用意された名残りで3種類あり、コアの色で分けられていることが多いようです。黄色が段間用、赤が局発用、白が検波用となっています。

〔調整用ドライバ〕
先端だけ金属だが
全体は樹脂製

◆写真2.11.3(a)　IFTの外観

10mm　IFT
7mm　IFT
内蔵コンデンサ

◆写真2.11.3(b)　コイルの調整

取付け寸法はFCZコイルと同じサイズなので、図2.11.3のようにします。

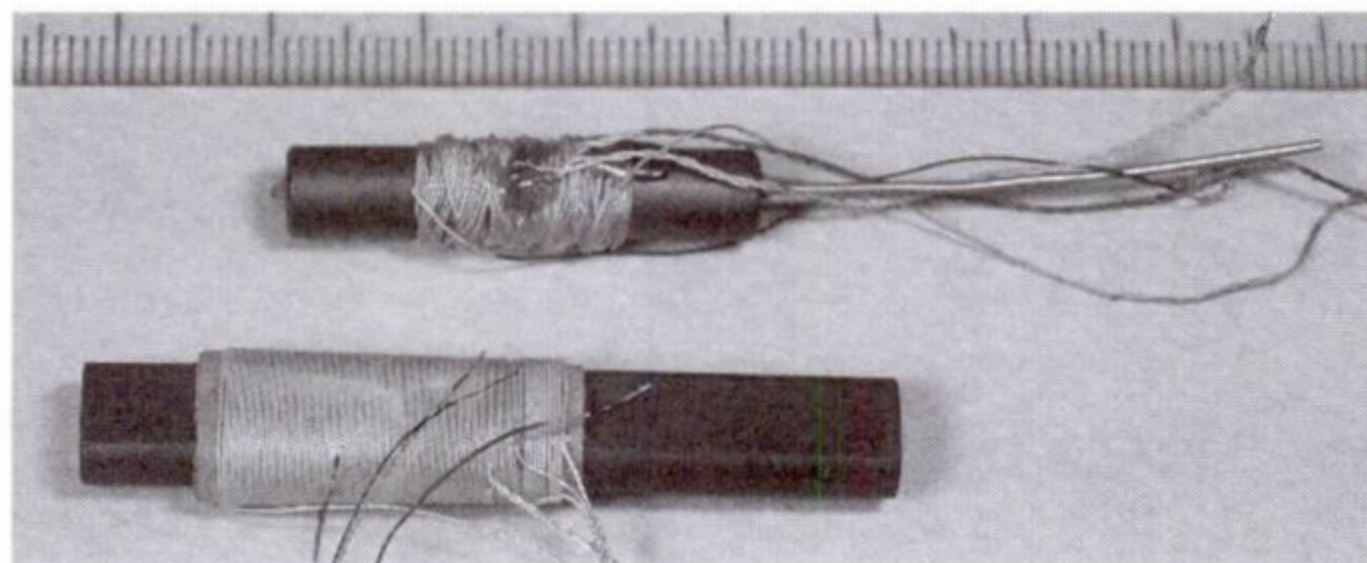
(4) バーアンテナコイル

参考

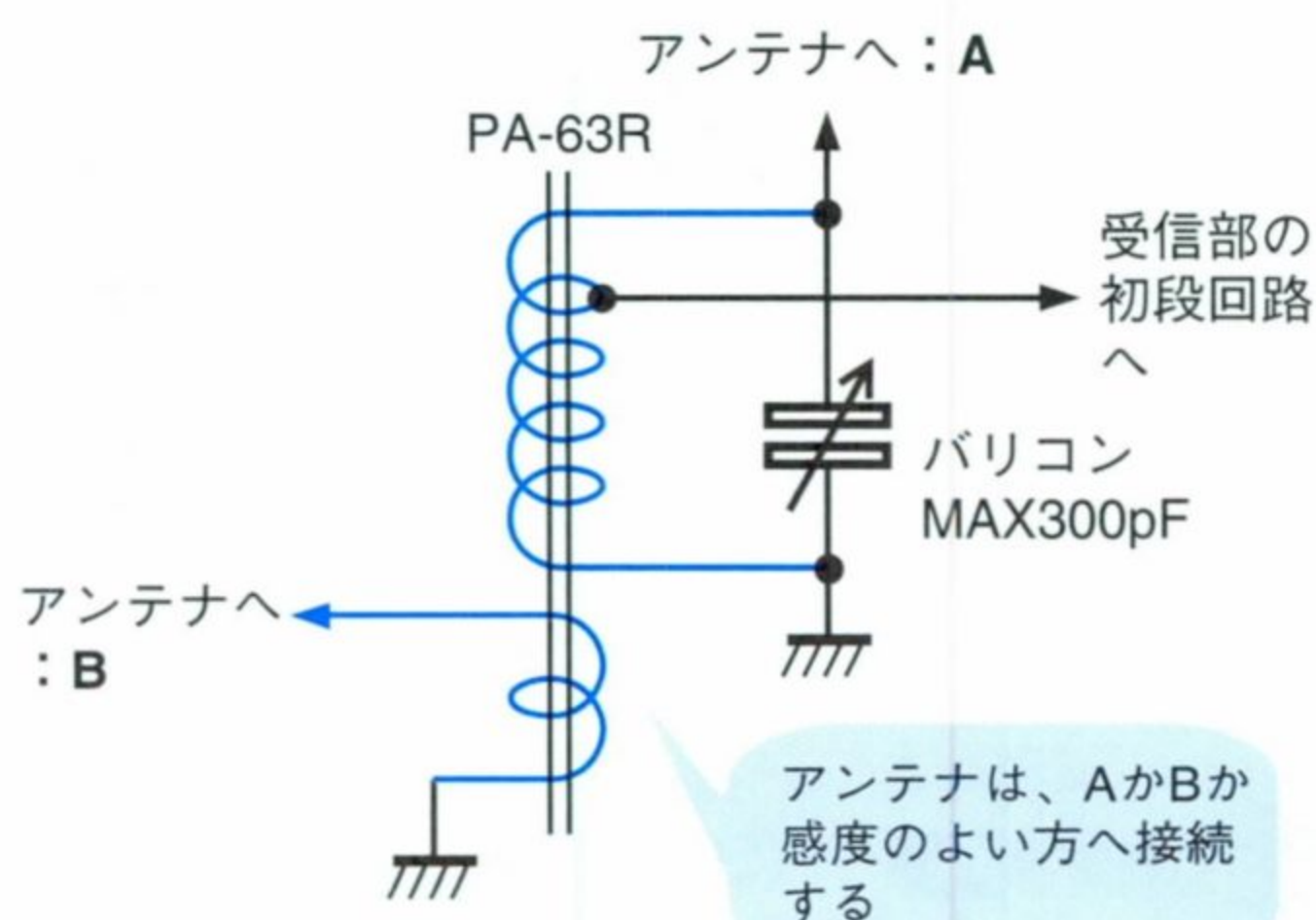
写真2.11.4：上
PA-63R

参照

・バリコン→
p.54

携帯ラジオの同調用コイルで、特にコアを大きくして受信感度がよくなるようになっています。形や大きさには多くの種類があります。一般にバリコン（バリアブルコンデンサの略）と並列接続して同調周波数が可変できるようにしてラジオ電波などと同調を取ります。AM（HF）ラジオ用のバーアンテナは写真2.11.4のような外観をしています

◆写真2.11.4　バーアンテナコイルの外観例

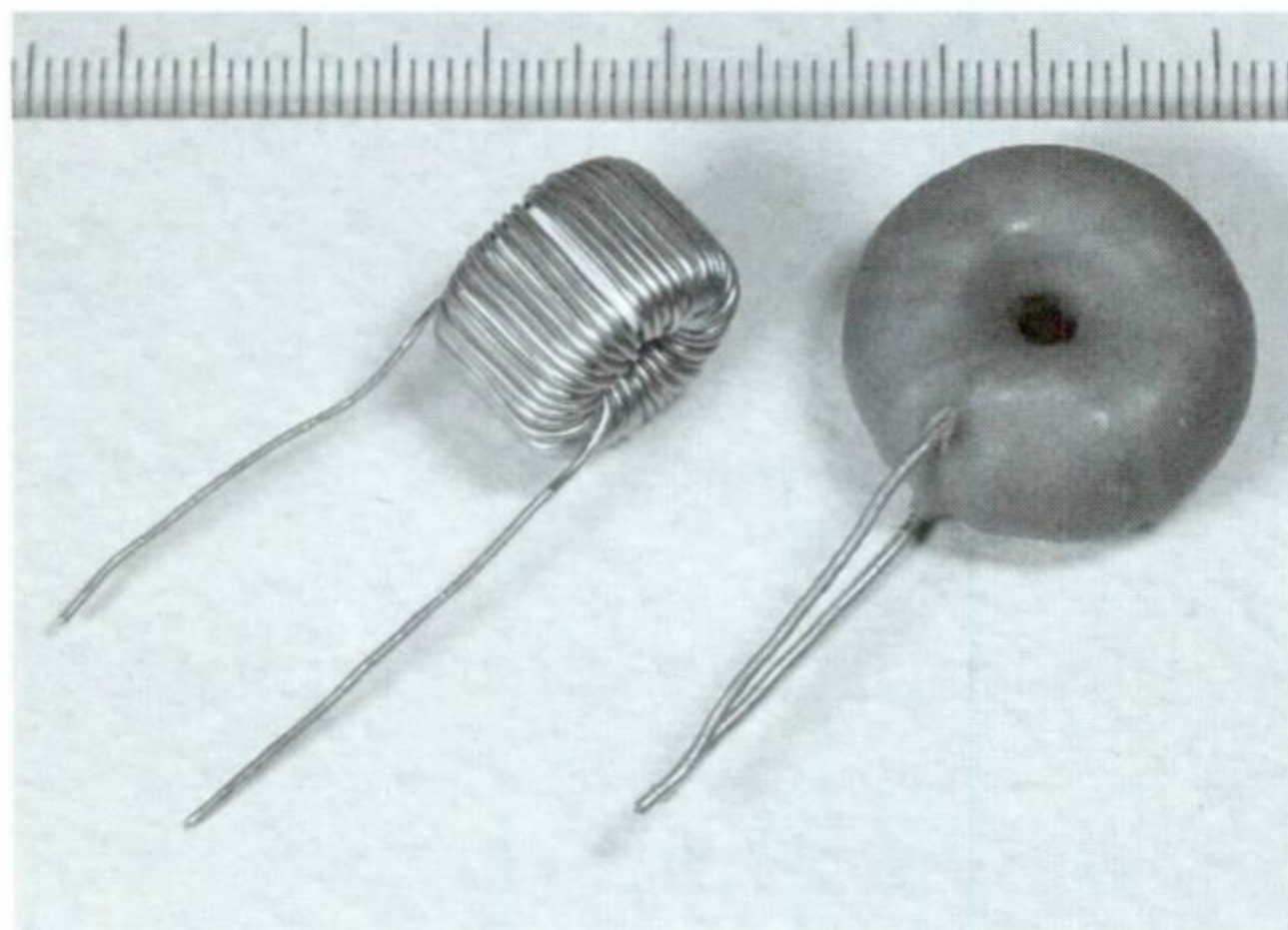
が、大きさは小型のものから大型のものまであって、ラジオの寸法に合わせて開発されていますが、私たちが一般に入手できるのは写真のようなものです。バーアンテナコイルの接続は図2.11.4のようにするのが一般的です。

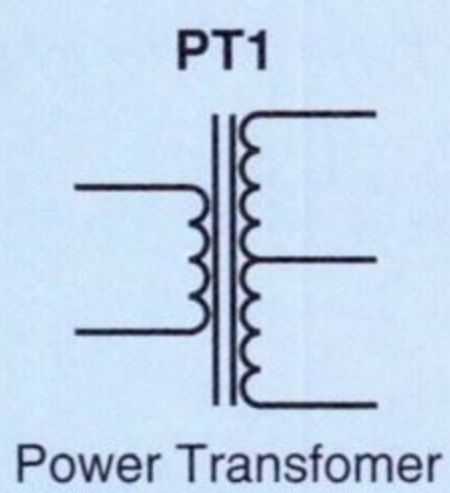
アンテナへ：A
PA-63R
受信部の初段回路へ
バリコン MAX300pF
アンテナへ：B
アンテナは、AかBか感度のよい方へ接続する

◆図2.11.4 バーアンテナコイルの接続

(5) 電源用チョークコイル

参考
電源ノイズ防止用のフィルタや、平滑回路のフィルタに使われています。

用語解説
・トロイダルコア
ドーナツ状のコア。
・トロイダルトランス
トロイダルコアで作成したトランスのことで、コアに切断面がないため、漏洩磁束が外部に出ない。この特性により、周波数特性がよく、効率もよくなり小型化できる。小型、高効率、ノイズが少ないという特徴から高級オーディオや医療機器などに使われている。

商用電源周波数でも十分のインダクタンスとなるようになっているコイルで、大型の**トロイダルコア**に銅線を巻いて作られています。入力電源用のフィルタや、スイッチング電源の出力平滑用フィルタとして使われています。チョークコイルの働きは簡単にいうと、交流に対しては大きな抵抗となって交流を通さないようにし、直流に対しては、抵抗ができる限り少なくなるようにして効率よく出力できるようにしたものです。この目的を達するために、非常に透磁率の高いトロイダルコアを使います。これを使えば、巻線回数が少なくても大きなインダクタンスが得られるからです。使う場合には、流す電流によってサイズが異なりますので、使用する電流より大きな許容電流のものを使うようにします。

◆写真2.11.5 電源用チョークコイルの外観

2-11-2 トランス

用語解説
・トランス
変圧器（電圧を変換させる機器）。
構造 → 図2.11.5参照

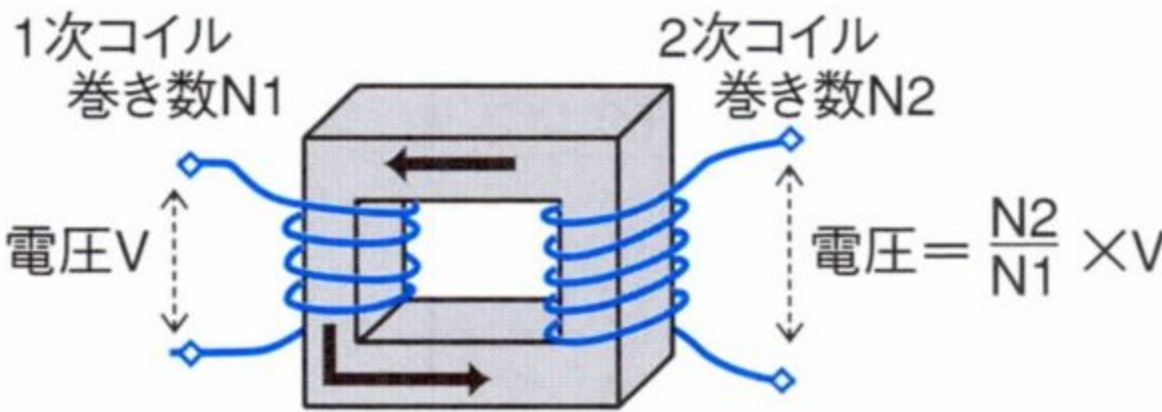
トランスは複数のコイルを1つの磁心に巻いたもので、こうすると磁心を介して「電磁誘導」が起き、電磁的に結合されるという現象が利用されています。この現象を利用して、電圧の変換、インピーダンスの整合、パルスの伝達というような目的に使われています。いずれも入力とする1次側と、出力となる2次側が電気的に絶縁されたままで電気的エネルギーが伝えられ、しかも伝え方が巻線の巻

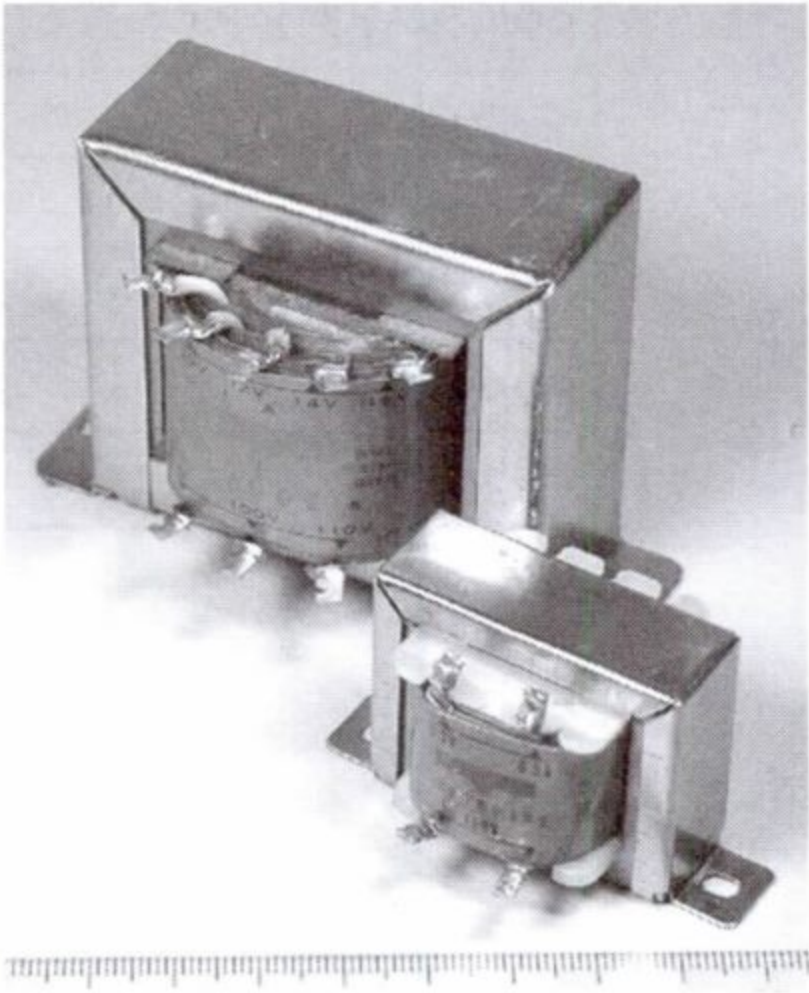
き回数で変えられることが利用されています。トランスの種類には大別して表2.11.4のようなものが使われています。

◆表2.11.4　トランスの種類

回路図記号	名称	機能、特徴
PT1 Power Transfomer	電源トランス	複数のコイルを同じ磁心に巻いたもので、電圧変換の機能を有する。これを利用して、交流電圧を降下あるいは昇圧させるのに多用する。
	スイッチング電源用トランス	電源用トランスと同じだが、扱う周波数が高いため小型で効率のよいトロイダルコアを使っている。
	オーディオ用トランス	トランジスタ回路などで入出力のインピーダンスが大きく異なる場合、伝達ロスを少なくするためにインピーダンス変換用として使われるトランス。最近は回路の工夫で必要なくなったためあまり使われなくなった。
	パルストランス	デジタル回路のデータ伝送ラインなどで絶縁が必要な場合に使われる。パルスの時間幅によって適当なものを選択する必要がある。

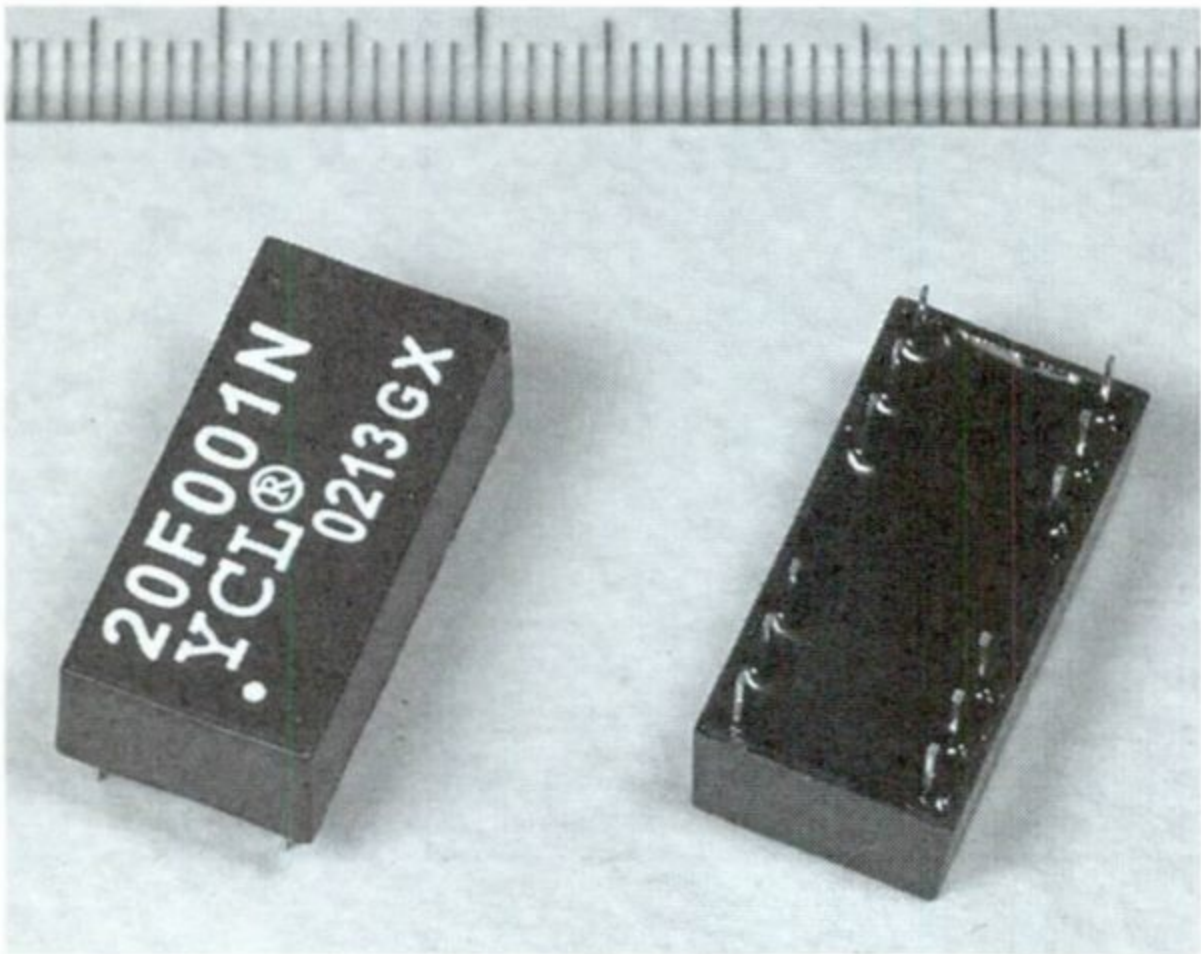
(1) 電源トランス

一般に使うのは商用電源なので、50Hzか60Hzとなり周波数が低いのと、電流容量が大きいことから大型のトランスとなります。出力の電圧と電流容量によって多くの種類があります。AC100VからDC電源を作るときには必須の部品です。しかし、市販の電源では最近はほとんどスイッチング電源となっており、重く大型の電源トランスを使う方式は少なくなって来ました。しかし、私たちアマチュアには簡単で安くできるトランス方式は未だ健在です。写真2.11.6は、電子工作でよく使われるタイプの電源トランスの例です。2次側には巻線の途中の何箇所からタップと呼ばれる端子が出ていて、それぞれ巻線回数に比例した電圧が取り出せるようになっています。そして0V側に相当する方には、取り出せる最大交流電流値が表示されています。写真の例では、4.5V、7V、8V、9Vのいずれかを1Aまで取り出せるようになっています。

コアに巻かれた1次コイルに交流電流を流すと、コアを通過する磁束によって電磁誘導作用がはたらき、2次コイルに交流電圧が生まれる。1次コイルの電圧と2次コイルの電圧は、それぞれのコイルの巻数に比例する。この原理によって、電圧を変換することができる。

◆図2.11.5　トランスの構造

◆写真2.11.6　電源トランスの外観

トランスの取り付けは、写真にあるようにネジ取り付け部分がありますので、それに合わせてシャーシに3.2mm ϕ 程度の穴をあけて、ネジで固定します。

(2) パルストランス

デジタル回路のパルスを電気的に絶縁しながら効率よく伝達することを目的に作られたトランスで、伝達するパルスの幅によって選択する必要がありますが、そのときの指標にされるのが「ET積」と呼ばれるパラメータで、入力のパルスの電圧と時間幅の積の値を示しています。選択する手順は下記のようにします。

◆写真2.11.7 パルストランスの例（イーサネット用パルストランス）

参考

AC100VからDC電源を作るときに用いる部品。

① 入力と出力のパルスの電圧比から巻線の巻数比が決まります。

例えば入力パルスは10V、10 μ secだとし、出力には同じパルス幅のまま電圧値を5Vにしたいときは、電圧比から巻数比は2：1となります。

② 次に、ET積を求めます。

上記の例であれば、10V × 10 μ sec = 100となるので、これより大きなET積を持つパルストランスとします。上記で求めた巻数比とET積から適当なパルストランスを選択します。表2.11.5は代表的なパルストランスの例です。

◆表2.11.5 パルストランス例（JPCデータより）

品名	巻数比	一次側インダクタンス〔μH〕	一次側ET積〔V・μs〕
FP101-102	1：1	1000	70
FP101-502	1：1	5000	160
FP101-103	1：1	10000	260
FP201-102	2：1	1000	70
FP201-502	2：1	5000	160
FP201-103	2：1	10000	260

2-12 コネクタとソケット

電子回路でできたものどうしを接続するときにはコネクタを使います。コネクタは非常に種類が多く、基板どうし、基板とケーブル、パネルに取り付けるタイプのものなどいろいろあります。以下には工作でよく使う代表的なコネクタに限定して説明していきます。

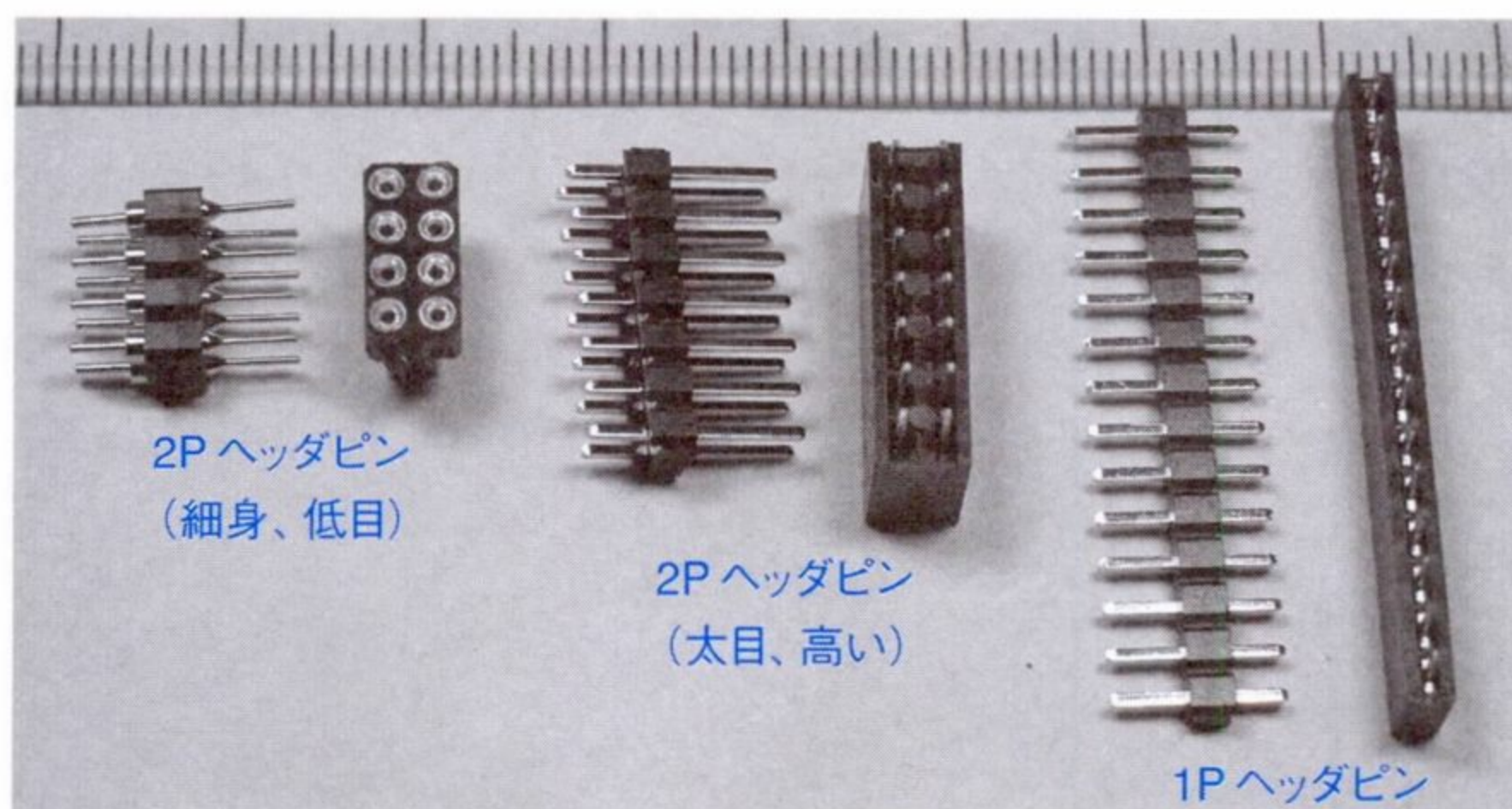
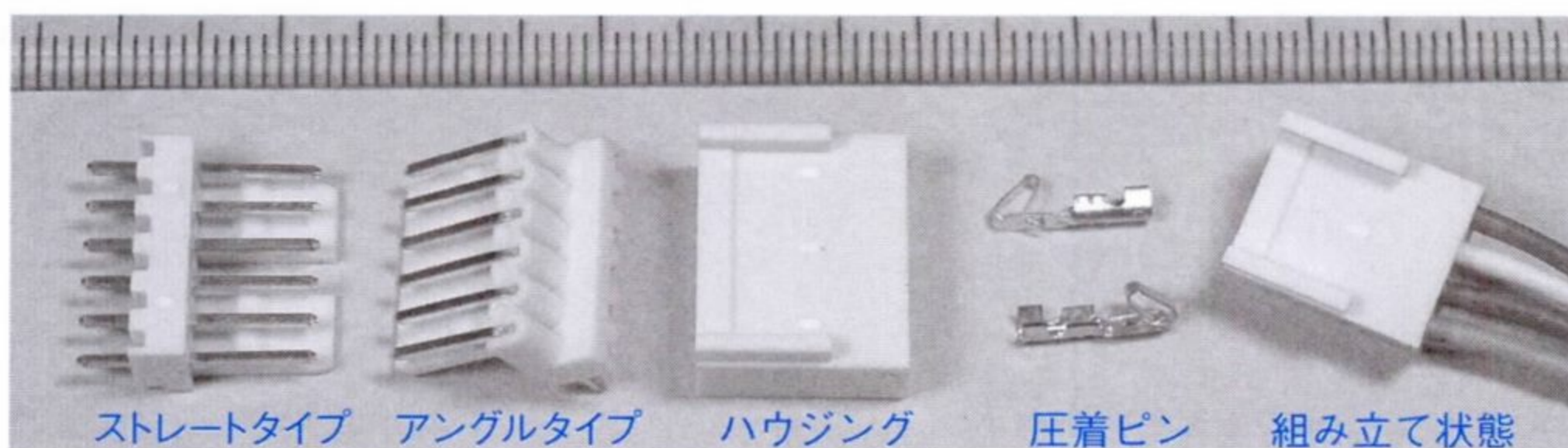
2-12-1 基板用コネクタ

基板と基板や、プリント基板とケーブルを接続するときに使うコネクタで、ピン数は1ピンから数10ピンまで各種あります。私たちが工作でよく使うのは、小型で安価なものです。写真2.12.1は基板どうしを接続するタイプのコネクタの例ですが、これはデュアルインラインタイプとなっていて、基板のパターン設計が楽にできるようになっています。

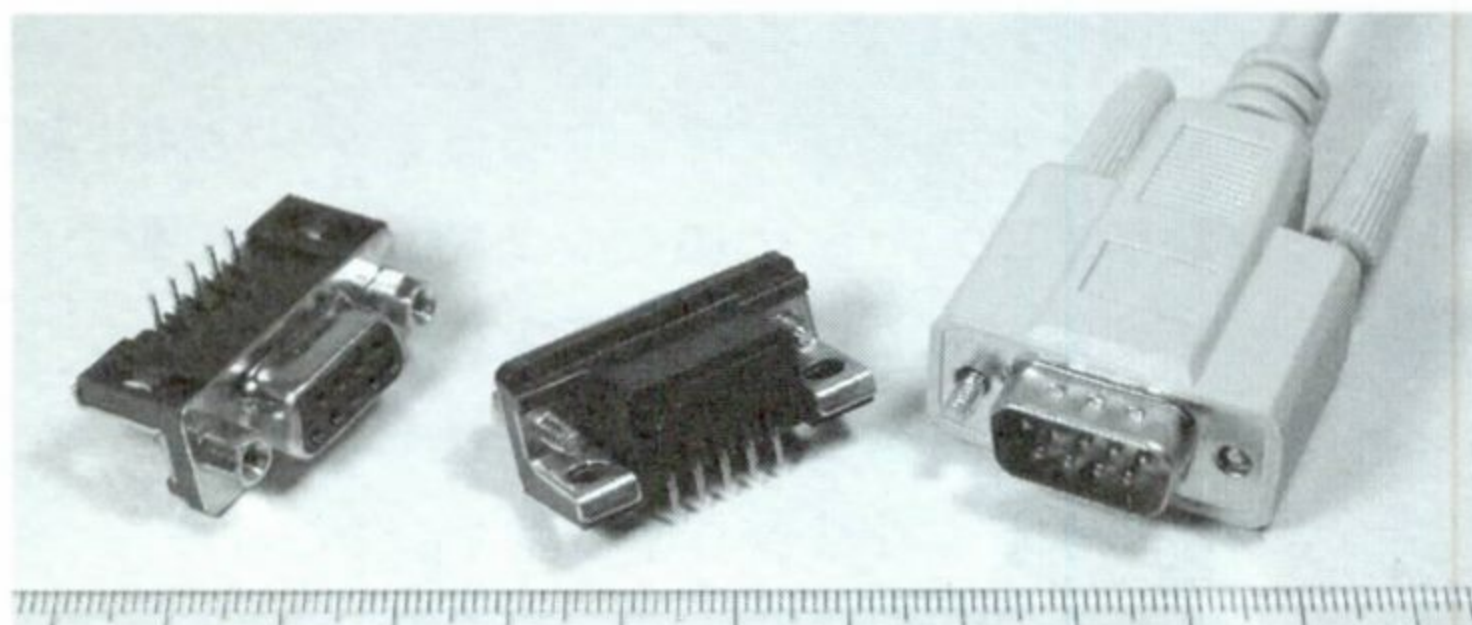
写真2.12.2は基板とケーブルを接続するタイプのコネクタの例です。比較的細いケーブルの接続に使いますが、基板どうしを接続するケーブル用にも使います。写真のように基板側には縦型と横型があります。これもピン配列はデュアルインラインタイプとなっていてパターン作成が楽にできます。

参考

写真2.12.1の1ピンヘッダは、数個まとまった形で販売されています。使用時に切り離して利用します。

写真2.12.2のハウジングに線材を装着するには、圧着工具がある場合は圧着により接続しますが、工具がない場合は、圧着ピンに線材をはんだ付けして、ハウジングに挿入します。

◆写真2.12.1 基板どうしの接続用コネクタの例

◆写真2.12.2 基板とケーブルを接続するタイプのコネクタの例

2-12-2 多芯ケーブルコネクタ

コンピュータと周辺機器を接続するときなどによく使われるコネクタで、数10ピンの容量を持っています。写真2.12.3はその中でもパソコンとの接続によく使われる**DSUB**（ディーサブ）**コネクタ**と呼ばれているコネクタです。主に左側のような9ピンのものと、中の25ピンのものがよく使われています。写真のような基板用の横向きでプリント基板タイプのものと、パネル取り付け用のものがあります。さらにケーブル側は、最近は写真のようにパソコン用ケーブルとして市販されている組み立て済みのもので間に合わせることが多くなりました。

◆写真2.12.3　DSUBコネクタの例

2-12-3 同軸コネクタ

高周波信号を伝達するための専用のケーブルとして**同軸ケーブル**が使われます。同軸ケーブルに合うコネクタとして**同軸コネクタ**が使われます。同軸コネクタには数種類ありますが、写真2.12.4はよく使われるBNCタイプの同軸コネクタです。左側がジャックで右側がプラグです。ジャック側をパネルに直接取り付け、パネルそのものがグランドになるようにします。取り付けには10mm ϕ の丸穴だけあければよいので取り付けは簡単です。しかし、プラグに同軸ケーブルを取り付ける組み立てには結構コツが必要です。

用語解説

・BNCコネクタ
〔読み：ビーエヌシーコネクタ〕
　同軸ケーブルを接続するためのコネクタ。ロックする機構があるので、しっかりと固定できる。計測、通信、映像信号などに使用されている。

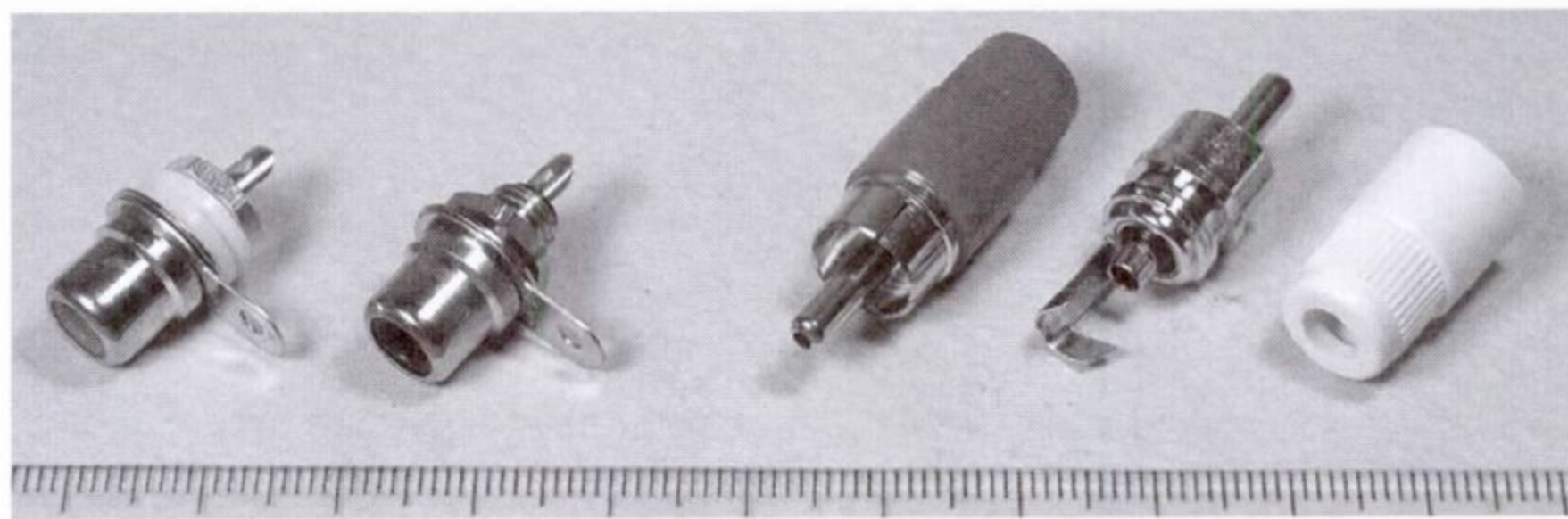
◆写真2.12.4　BNCコネクタ

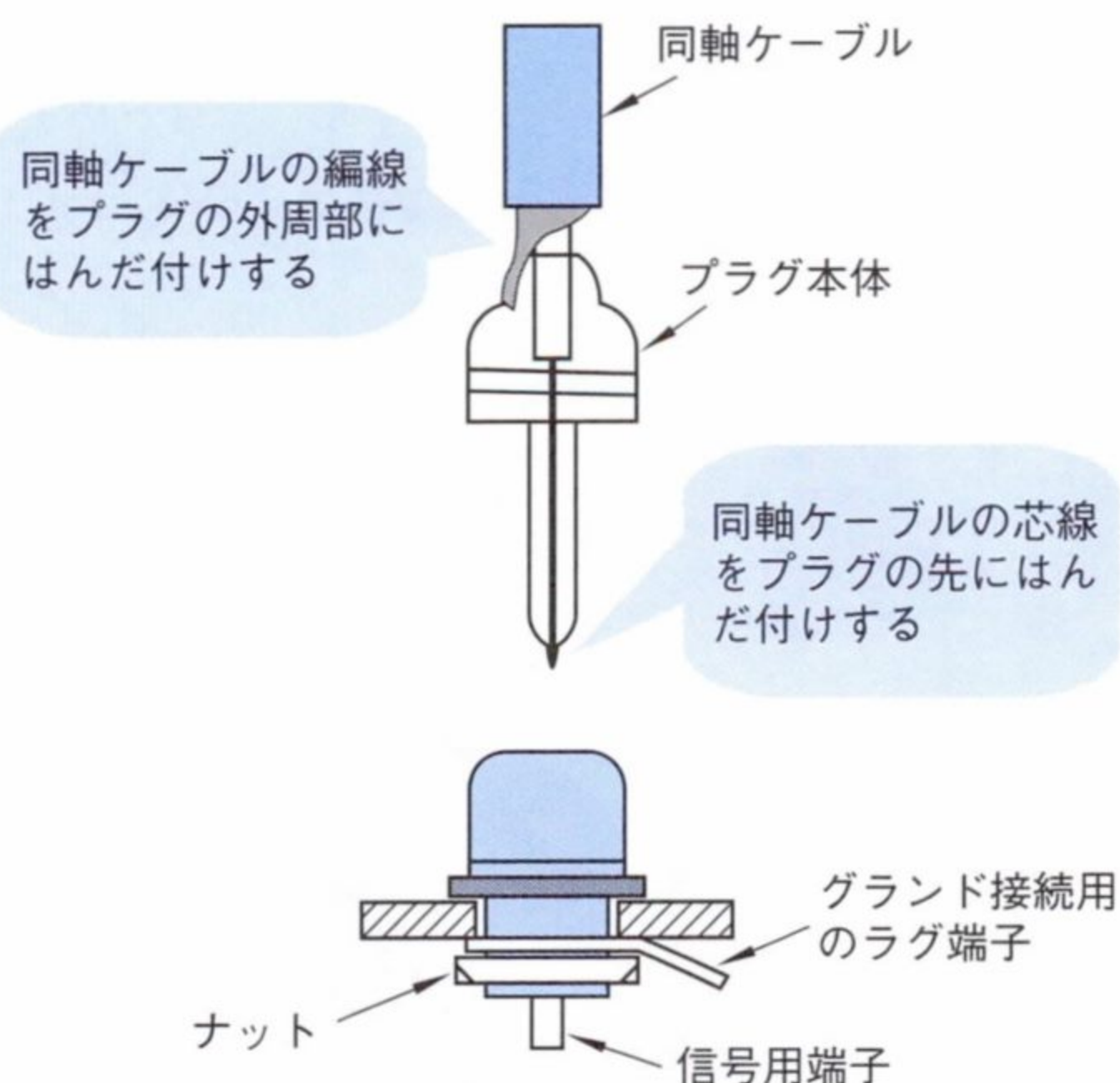
2-12-4 ピンジャック

主にオーディオ用の信号の接続に使います。写真がその例です。左側の2つがジャックでパネルに丸穴をあけてナットで固定します。左から2つ目はグランド側が直接パネルに接触するタイプで、通常はこちら側を使います。これに対して、計測やオーディオ用などでグランドとパネルを絶縁したいときには左端の形のジャックを使います。このジャックは取り付け固定部に絶縁物のスペーサが挿入されていて完全にパネルと絶縁した状態で取り付けることができます。右側はプラグです。オーディオ用ですから外部配線にはシールド線を使うのでそれに適した構造となっています。

これと類似の形をしたピンジャックにRCA（アールシーエー）ジャックと呼ばれるものもありますが、構造がしっかりしていて、高周波にも使えるようになっているタイプです。

アドバイス

グランドとパネルを絶縁したいときは、絶縁ワッシャつきのピンジャック（RCAジャック）を選択してください。

◆写真2.12.5 ピンジャック

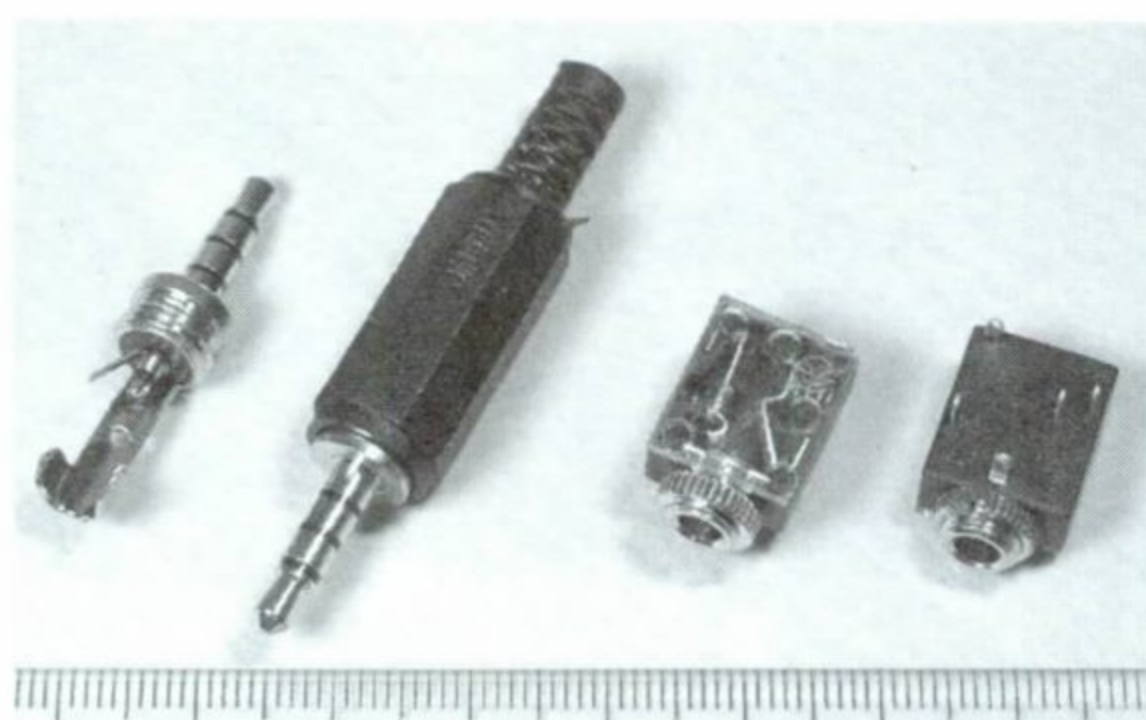
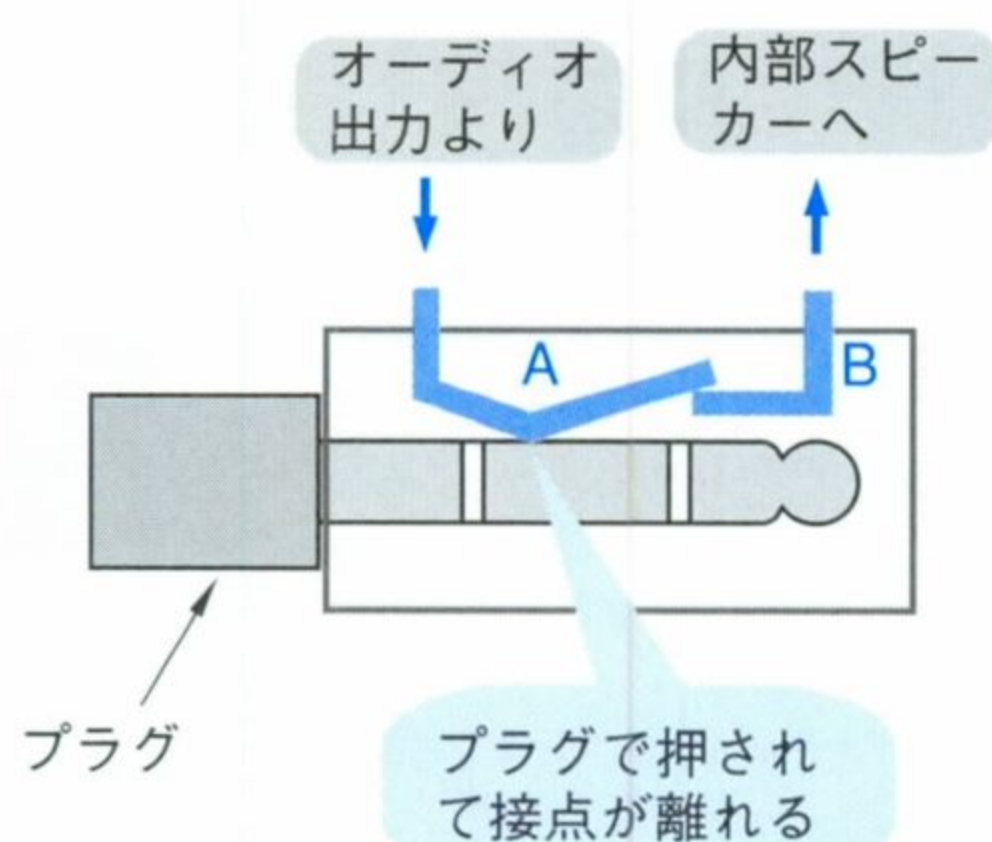
ピンジャックとプラグの組み立て方は図2.12.1のようにします。同軸ケーブルの芯線を長めに出して、プラグの先端から出るようにしておき、編み線側をプラグの外側にはんだ付けします。その後で芯線をはんだ付けして固定します。

◆図2.12.1 ピンジャックとプラグの組み立て方

2-12-5 ステレオプラグジャック

ステレオのオーディオ用の接続用として使います。アンプとプリアンプの間とか、アンプと入力用の機器の接続に使います。右端はパネル取り付け型のジャックです。左側がプラグで2芯の**シールド線**をこれに接続します。

ジャックは切り替えスイッチも兼ねるようにできていて、プラグの抜き差しでオーディオ出力を内部とプラグ側とに切り替えることができます。スイッチの切り替えのしくみを簡単に図示すると図2.12.2のようになります。つまり接点AとBはプラグが挿入されていないときには接触していて、オーディオ出力信号は内部スピーカに接続されています。ここにプラグが挿入されると、接点Aが押されるため、接点Bとの接触が外れ、接点Aはプラグと接触することになってオーディオ出力がプラグ側に接続されることになります。

用語解説

・シールド線
芯線の周りをシールド（遮蔽）した線。1芯、2芯、3芯などがある。

◆写真2.12.6 プラグジャック

◆図2.12.2 ジャックの切り替えスイッチ

2-12-6 DC電源用プラグジャック

外部からDC電源を供給するときに使います。プラグの太さが3種類あり、扱う電圧によって使い分けます。もともとの規格は、5V以下、10V以下、10V以上と

常識

使用するACアダプタのプラグの極性を必ずチェックすること。プラグの極性を確認したうえで、DCジャックの配線を行うようにすること。

◆写真2.12.7 DC電源プラグジャック

なっていますが、厳密ではありません。写真2.12.7が**DCプラグジャック**の外観です。左から、10V以上用の太目のプラグ、10V以下用、5V以下用のプラグの順です。

右後側の2つのジャックはパネルに丸穴をあけて固定して使います。左後側のジャックは基板用で、基板のパターンにはんだ付けして固定します。

これ以外に、プラグ側はケーブルと一体になったモールド成型品のものもあり、それを使う方がきれいにできてよいでしょう。

プラグジャックを使うときの注意は、プラグの極性が一意に決まっていないということです。例えばACアダプタで外部から電源を供給するような場合、ACアダプタのメーカによってプラスとマイナスの接続が逆になっていることがあります。それでも多くの場合は、プラグの内側の方がプラス、外側がマイナスとなっていますので、私たちが使うときにはそれに統一した方がよいでしょう。

参考
・センタープラス
真中が＋
・センターマイナス
真中が－

このマークで、ACアダプタのプラグの極性をまずチェックしてください。

◆写真2.12.8 極性をチェック

2-12-7 ICソケット

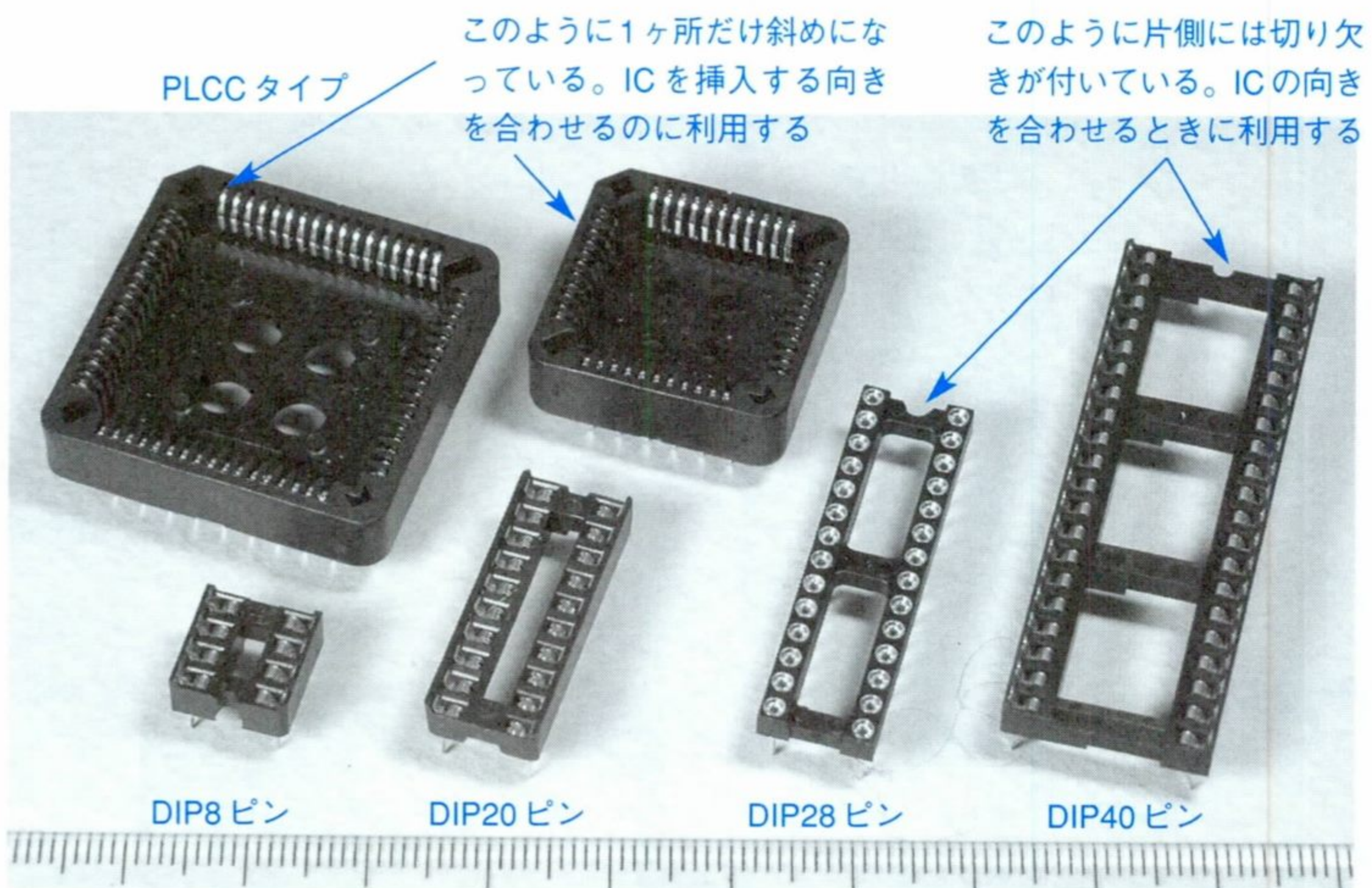
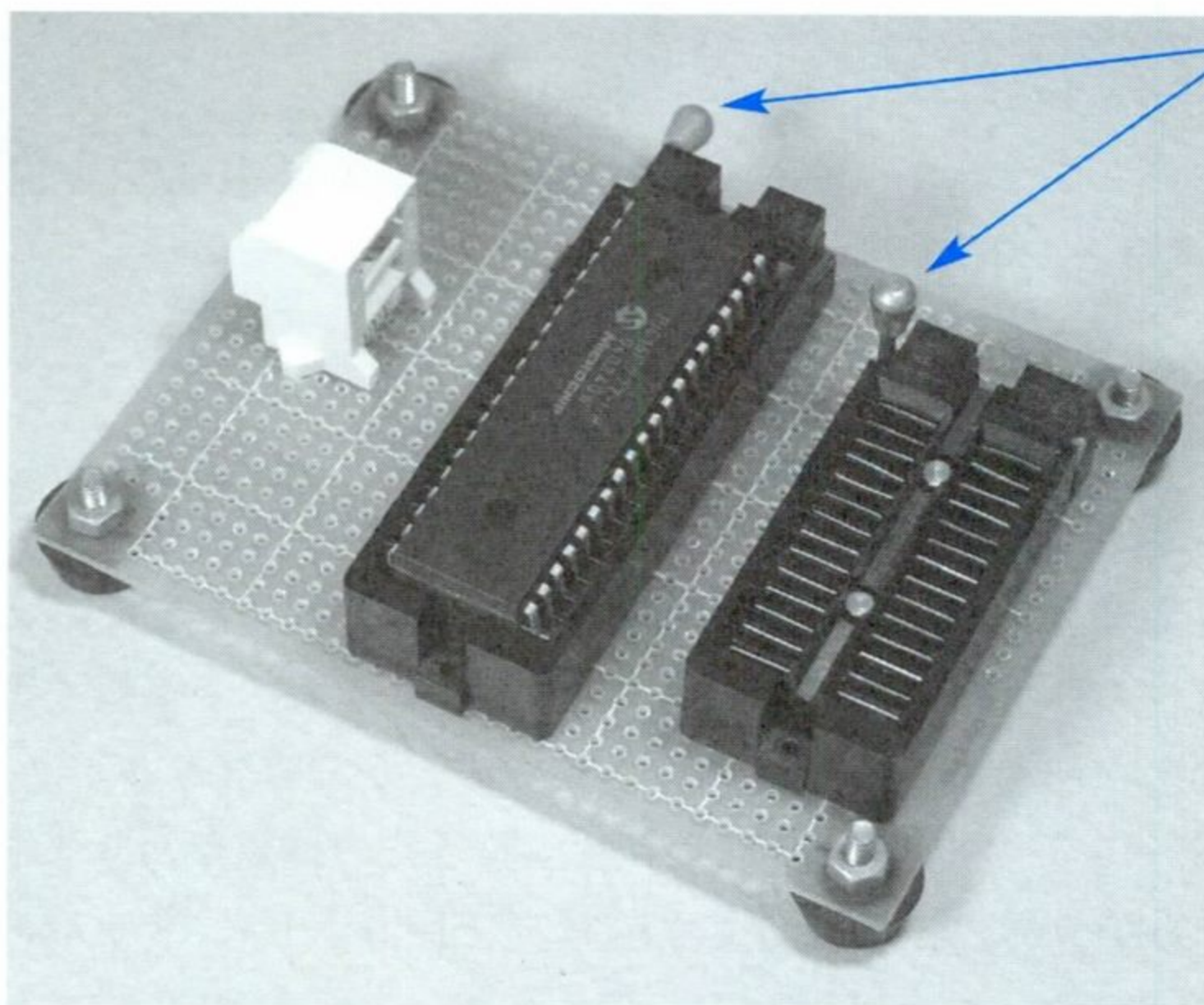
用語解説
・**PLCC**
〔読み：ピーエルシーシー〕
四辺に外部入出力用のピンを配したもの。CPLDなどのデバイスに使用する。
1箇所斜めになっている箇所があるので、ここにICの向きを合わせる。
・**DIP**
〔読み：ディップ〕
平たい長方形の形状をしたもの。一般的なIC用。
切り欠きが付いているので、ここにICの向きをあわせる。

ICを直接基板にはんだ付けできないときや、後から何回も使いたいとき、書き換え可能なメモリを使用するときには、**ICソケット**を使います。このソケットを基板にはんだ付けしておけば、後からICを挿入して実装することで、基板に取り付けたのと同じようにして動作させることができます。

ICソケットの種類はICに合わせて数多くの種類がありますが、アマチュア工作では、DIPタイプが大部分です。写真2.12.9がICソケットの実際の例です。左上側はPLCCタイプと呼ばれているもので、他はDIPタイプと呼ばれています。ソケットの構造はメーカによっていろいろなものがあります。

このような固定のICソケットの他に、写真2.12.10のようなレバー付きのICソケット（**ゼロフォースソケット**）があります。これはメモリなどの書き込み器など、もともと何回もICを抜き差しすることが前提になっているものは、特にピン数が多くなると抜き差しに力が加わるため、ICを壊してしまうことがあります。そこでレバーを使い、レバーをオフにすれば、ICの実装には全く力が要らないようにしたものです。

ICを実装後、レバーをオンとするとピンが固定され電気的に接続されることになります。特に写真の例では、40ピンと28ピンのソケットなのですが、ピンを挿入するソケット部の幅が広くなっており、14ピンや16ピンの幅の狭いICも実装

できるようになっているので、便利に使うことができます。

◆写真2.12.9 ICソケット

◆写真2.12.10 ゼロフォースソケット

2-13 スイッチ

スイッチは最も基本的な人間が操作する部品のひとつです。これを使ってコンピュータと人間とがコミュニケーションを取ることになります。スイッチにはサイズ、形、方式など非常にたくさんの種類があります。

2-13-1 スイッチの種類

鉄則

接点の許容開閉電圧、電流に注意すること。特にAC電源の電源スイッチに使ったり、大電流のON／OFFを行うときには要注意。

パネルやプリント基板に取り付けて、外部から操作できるようにするスイッチ類を大別すると、表2.13.1のような種類があります。これらの使い方は好みによって使ってよいのですが、ひとつだけ注意が必要なことは、接点の許容開閉電圧、電流の値です。特にAC電源の電源スイッチに使ったり、大電流のON／OFFを行うときには要注意です。AC100VのときにはAC125V用以上のものを使用してください。

◆表2.13.1　スイッチの種類

名称	特徴・用途
トグルスイッチ	レバーを上下にスナップすることで切り替える方式のスイッチで、あらゆる用途に使われている。
プッシュスイッチ	押すことでスイッチが切り替わる方式のスイッチ。押すとONになるものとOFFになるものがある。【モーメンタリ型】：押している間だけONになる。【オルタネート型】：押す度にONとOFFが切り替わる。
スライドスイッチ	レバーをスライドさせることで切り替える構造のスイッチ。
デジタルスイッチ	DIP型のICと同様な形状をしたスイッチで、1個ずつ独立のスイッチになっているものと、回転型のスイッチになっていて4ビットのバイナリデータが接点として出るようになっているものがある。
ロータリースイッチ	同心円状に配置された複数の接点と、シャフトと連動して回転するロータリー接点を組み合わせたスイッチで、1回路当たりの接点数を多く取れるのと同時に、回路数も多くすることができる。
デジスイッチ サムホイールスイッチ	同心円状に配置された接点と、シャフトで回転するロータリー接点を組み合わせたスイッチで、接点の構成がバイナリデータの組み合わせになっている。前面には数値を表示することができるようになっている。

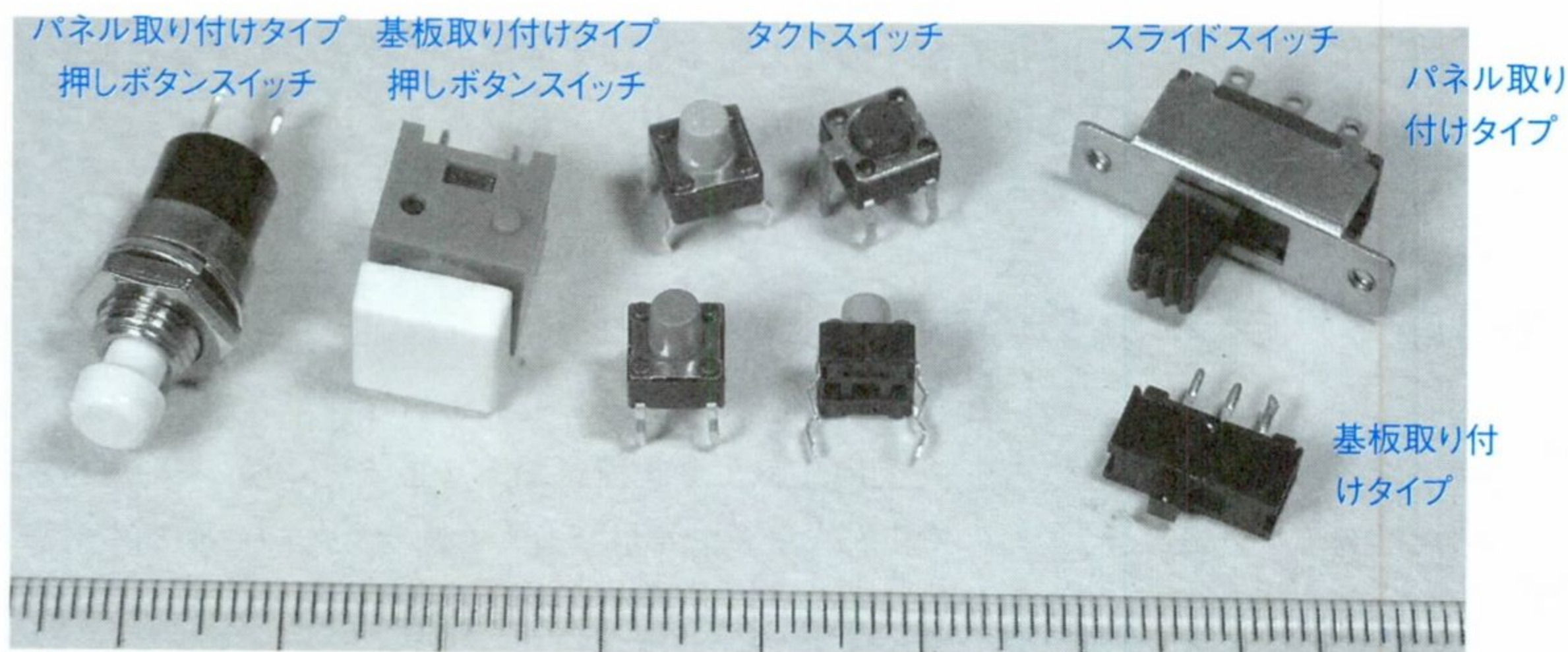
2-13-2 個別スイッチ

トグルスイッチ、プッシュスイッチ、スライドスイッチはいずれも1個ずつ独立のスイッチとなっています。スイッチの接点構成には下記のような種類があります。

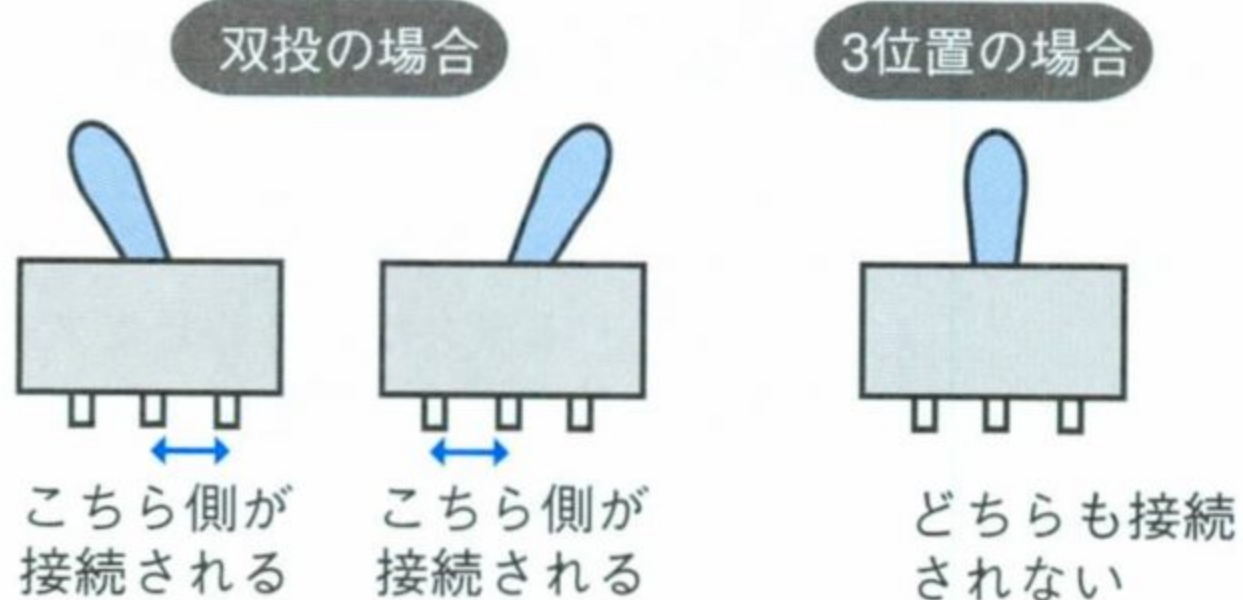
■モーメンタリとオルタネート

操作している間だけONとなるタイプが**モーメンタリ**（自動復帰型）で、操作するごとに切り替わるタイプが**オルタネート**（位置保持型）です。

■2位置と3位置

ONとOFFしかないものが2位置のスイッチで、中間にONでもOFFでもない非接続の状態があるものが3位置スイッチです。

◆写真2.13.1　スイッチの例

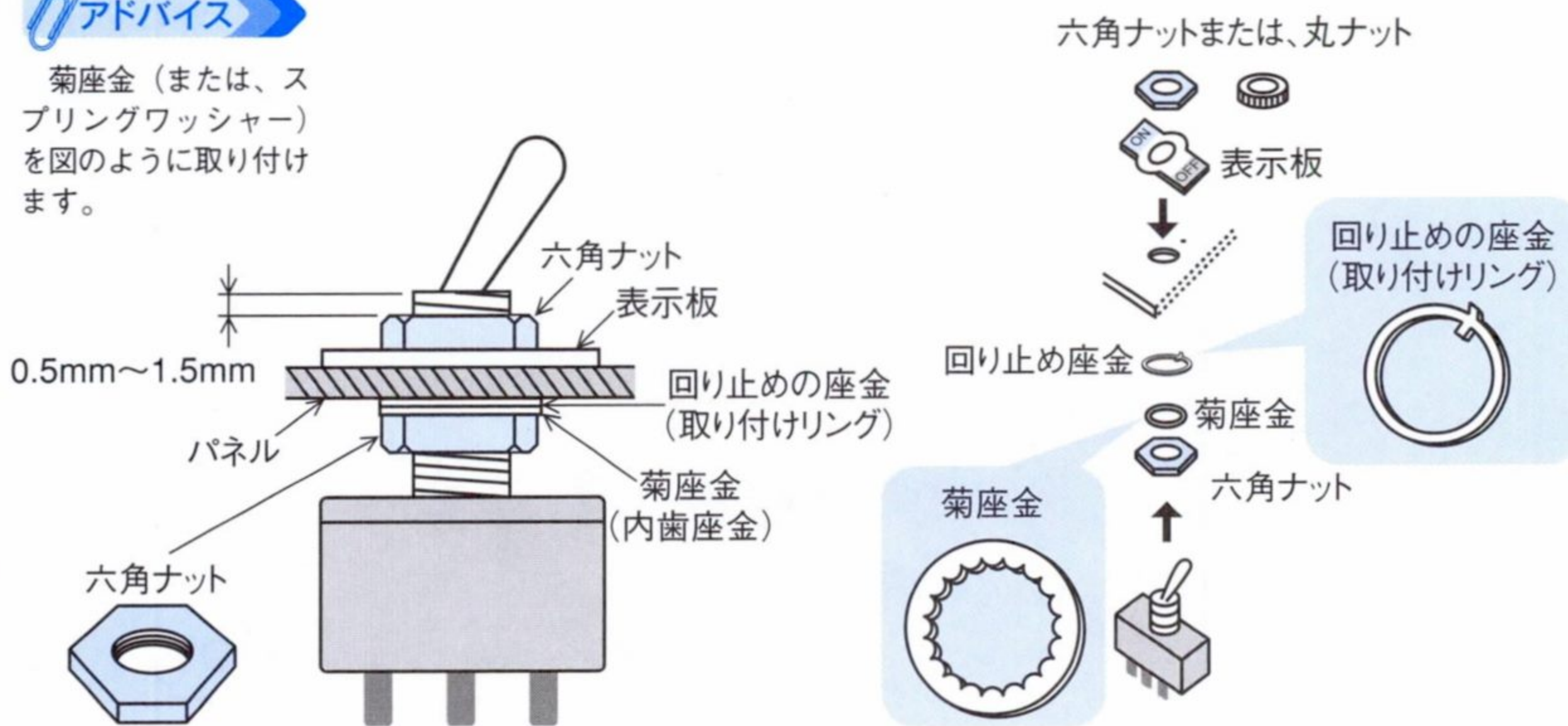
アドバイス

トグルスイッチには、ON-OFF、ON-ON、ON-OFF-ON等があるので、購入時に確認するようにしてください。

◆写真2.13.2　トグルスイッチ

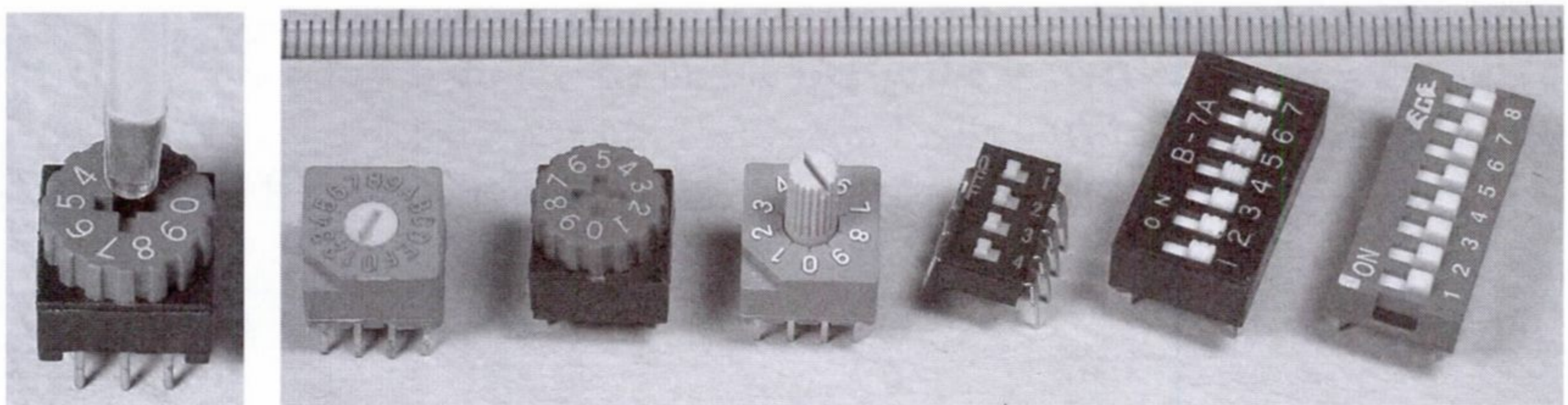
これらのスイッチの取り付け方は、大きく分けて丸穴だけで取り付けができるものとそうでないものとに分かれます。丸穴のものは大部分6 φの取り付け穴でちょうど合うようになっているので、丸穴にシャフトを通して、ナットで固定します。その際、スプリングワッシャを使って使用中にナットが緩(ゆる)まないようにします。基板取り付けタイプは、それぞれの寸法に合った穴あけが必要です。

COLUMN トグルスイッチの取り付け方

アドバイス

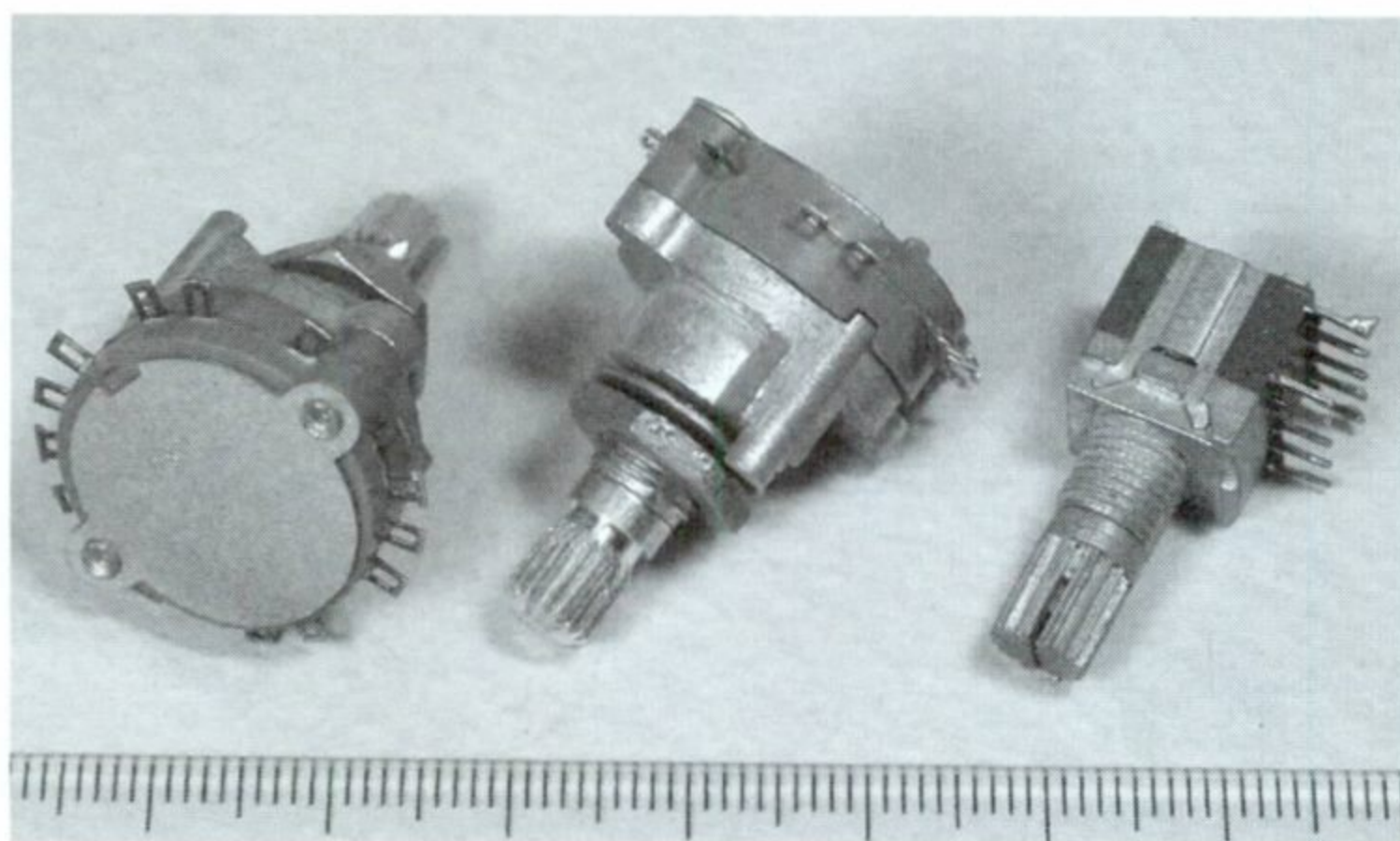
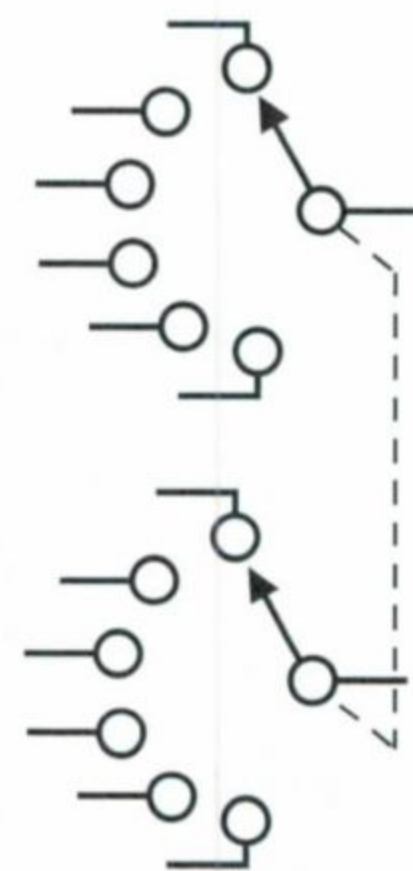
菊座金（または、スプリングワッシャー）を図のように取り付けます。

2-13-3 デジタルスイッチ

マイクロコンピュータなどで、各種の設定を行うような場合によく使われているスイッチで、DIP型ICの形や半固定可変抵抗器のような形をしているものがあります。DIP型のスイッチはDIPスイッチとも呼ばれ、1ビットごとに独立にON/OFFが可能です。いずれも接点容量は小さいので大きな電流を流す用途には不向きです。

写真2.13.3は、デジタルスイッチの例で、左端はロータリー型のバイナリの接点信号を出力するため、4ビットで0～Fまでの16進数での設定ができます。これらの取り付けは全てDIPタイプのICと同じになっています。

◆写真2.13.3 デジタルスイッチ

2-13-4 ロータリースイッチ

パネルや基板に取り付けて、順に切りかえるような目的に使います。感度の切り替えや、周波数の切り替えなど測定器によく使われています。写真2.13.4が外観です。

パネル取り付けタイプ　基板取り付けタイプ

◆写真2.13.4　ロータリースイッチ

1段2回路6接点の構成

◆図2.13.1　接点構成の例

接点構成は1段当たり12個の接点が構成でき、分け方により次のような種類があります。

12-1-1	12接点1回路1段
6-2-1	6接点2回路1段
4-3-1	4接点3回路1段
3-4-1	3接点4回路1段
2-6-1	2接点6回路1段

最後の1段というのはスイッチ接点を配置した円板が1段という意味で、これが2段と3段のものがあり、段数に伴って回路数が2倍、3倍となります。

取り付けは、主軸は大部分6 ϕか10 ϕとなっています。10 ϕの場合には、ドリルで6 ϕの穴あけをしたあと、リーマで広げて大きくします。またロータリースイッチにも可変抵抗と同じように空回り防止用の突起がありますので、穴を忘れないように3 ϕの穴をあけておきます。

2-14 その他の部品

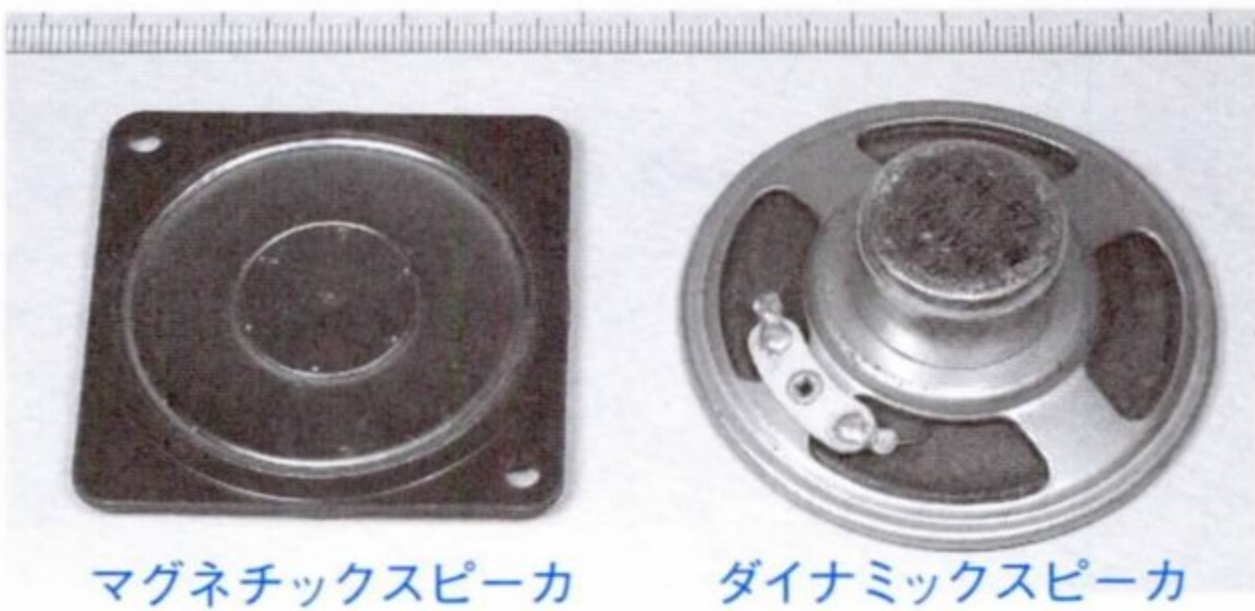
回路図に現れなかったり、明らかには描かれない部品があります。特に機構部品関連やケースに関する部品は回路図には描かれていません。そこで、それらの中の電子工作でよく使うものについて説明していきます。

2-14-1 スピーカ

名前は誰もが聞いたことがある部品です。しかし形状には非常に多くの種類があります。写真2.14.1は小型スピーカの代表的なものです。右側は**ダイナミックスピーカ**で、左側は**マグネチックスピーカ**と呼ばれていて、いずれも８Ω程度のインピーダンスを持っています。小型ですからあまり良い周波数特性は持っていません。

常識
ステレオとして２台使うときには極性を揃えること。

接続は２つの端子に接続するだけです。１個で使うときには極性は気にしなくてもよいのですが、ステレオとして２台使うときには極性を揃えることが必要です。円形のダイナミックスピーカの取付けには、本体には取付け穴がありませんが、小型の取り付け用金具があるので、それをねじで固定しスピーカの周囲を３箇所押さえつけて固定します。

マグネチックスピーカ　ダイナミックスピーカ

◆写真2.14.1　スピーカの例

2-14-2 電子ブザー／圧電ブザー

電気的な振動を発生して音として鳴動させる部品で、セラミックの振動を利用しています。鳴らすには、発振回路が必要なのですが、最近はそれらも一体で組み込んだ部品となっていますので、電源さえ加えれば鳴り出します。写真2.14.2は発振回路を内蔵していないタイプと内蔵しているタイプの例です。内蔵タイプは電源さえ加えれば鳴り出します。取り付けは基板に直接リードをはんだ付けして固定します。

圧電ブザー（発振回路なし）　電子ブザー（発振回路内蔵）

◆写真2.14.2　電子ブザーの例

2-14-3 液晶表示器

最近ではマイクロコンピュータの表示部には必ずといってよいほど使われています。表示文字サイズや表示文字数など数多くのものがあります。使う目的によって適当なものを選択して使います。写真2.14.3は16文字2行と20文字4行の表示ができる小型液晶表示器の例です。バックライト付きのものは厚みがありますので実装には注意が必要です。固定する際は、基板端の取り付け用の切り欠きを使いますが、パネル面にねじが出ないようL金具を利用して取り付けるようにします。

参照
・L金具 → p.146

20文字×4行
16文字2行　バックライト付き
16文字2行　バックライトなし

◆写真2.14.3　液晶表示器

2-14-4 アナログメータ

最近は数字によるデジタル表示のデジタルメータが全盛なのであまり使われなくなってしまいましたが、いわゆるメータで、電流を通すと指針回転角度が電流の大きさに比例して動きます。電源の電圧、電流の表示をはじめ使い道の多い部品です。

写真2.14.4は代表的な小型**アナログメータ**で、100 μ Aフルスケールでプラスマイナスに振れるセンターゼロタイプと、簡易型メータで**ラジケータ**と呼ばれるタイプの例です。ラジケータは電池チェッカやステレオアンプのレベルメータなどに使われます。取り付けには、大きな丸穴が必要です。固定は四隅に3.2 φのねじ取り付け穴をあけ、本体から出ている取り付け用のねじを固定します。

参考
ステレオアンプ用VUメータの製作記事が載った書籍が販売されています。興味がある方はぜひご覧ください。
「デジタルアンプキット＋PICマイコンではじめる電子工作」（後閑哲也著、技術評論社）

センターゼロタイプ
ラジケータ

◆写真2.14.4　アナログメータの例

2-14-5 電池ボックスとプラグ

各種乾電池を保持するためのケースです。外部との接続方法には、プラグとリード線と端子の3種類があります。端子のものははんだ付けの熱でケースが溶けてしまうので使うのは避けたほうがよいでしょう。最近は、電池がしっかり固定される金属製の乾電池ソケットが使われることもあります。写真2.14.5は単3電池用のボックスと、スナップ式のプラグケーブル、9Vの006P型電池ボックスの例です。

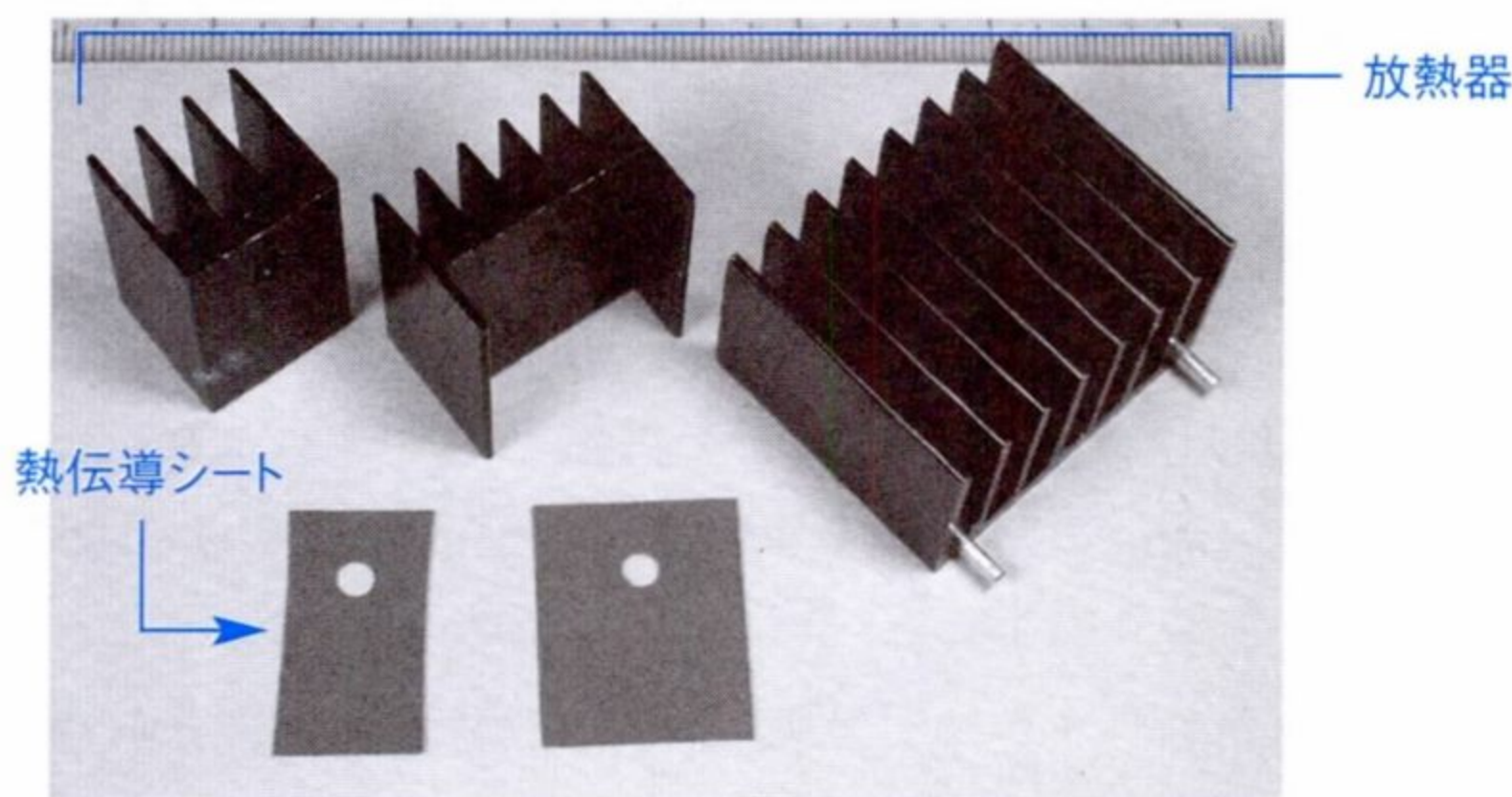
006P電池用
金属製 単3×2
プラスチック製 単3×2
スナップ式 プラグケーブル

◆写真2.14.5 電池ボックスとプラグケーブル

2-14-6 放熱器

アドバイス
熱伝導率を高める部品に、熱伝導シート、シリコングリスがあります。

トランジスタや3端子レギュレータなど、半導体で放熱を必要とするときに使われます。大きさにより放熱力が異なり、熱抵抗で表します。素子の取り付けには絶縁が必要な場合がありますので注意が必要です（また放熱器と放熱が必要な電子部品の間に挟んで熱伝導率を高めるための**熱伝導シート**があります）。

放熱器
熱伝導シート

◆写真2.14.6 放熱器と熱伝導シート

2-14-7 機構部品

ケースに組み込むときに必要となる取り付け用小物類で、いろいろ役立つものがあります。これらの代表的なものを写真2.14.7に示します。

◆写真 2.14.7　機構小物部品

写真左上から、各種の**ゴム足**でケースや基板の足として固定するのに使います。その下が各種**カラースペーサ**で基板などを浮かして固定するときに使います。右は**L金具**で、基板などをケースやパネルから浮かして取り付けるときや、液晶表示器などをパネルに取り付けるときに使います。

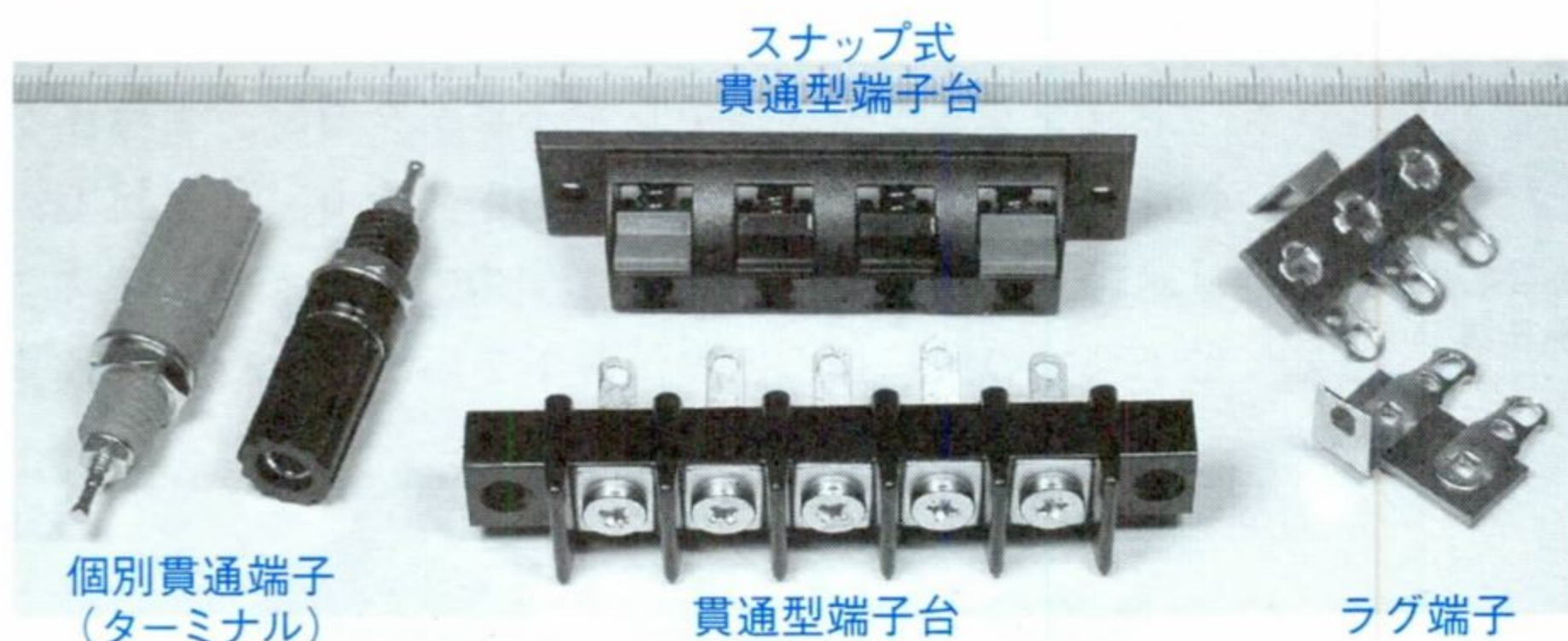
また写真2.14.8は**端子台**の例ですが、外部スピーカや、電源などを接続するために使います。スナップで簡易な接続ができるもの、ネジでしっかりと固定するタイプ、パネルを貫通させるタイプ、個別の貫通タイプと何種類かあります。**ラグ端子**はねじと一緒に締め付けてケースなどのフレームグランドと接続するようなときに使います。

◆写真 2.14.8　端子台

写真2.14.9は、商用のAC100Vを供給電源とするとき必要となる部品です。左から**ACブッシュ**、**ヒューズホルダ**（ヒューズを取り付ける際に使う）、フィルター付き**ACソケット**です。

◆写真 2.14.9　AC関連小物

(1) ACブッシュ

ACコードをケース内に引き込むところで、固定と絶縁を兼ねて使います。

そのままケーブルを挟み込むにはちょっときつ過ぎますので、下側のつばを少し切り落として使うようにします。取り付けには、やや大きめの楕円の穴が必要ですので、ドリルで6 φの穴あけ後リーマで適当なサイズに拡大し、ヤスリで楕円形に仕上げながら、ときどき大きさを現物合わせで確認しながら広げていきます。

参照
・リーマ → p.238

(2) ヒューズ

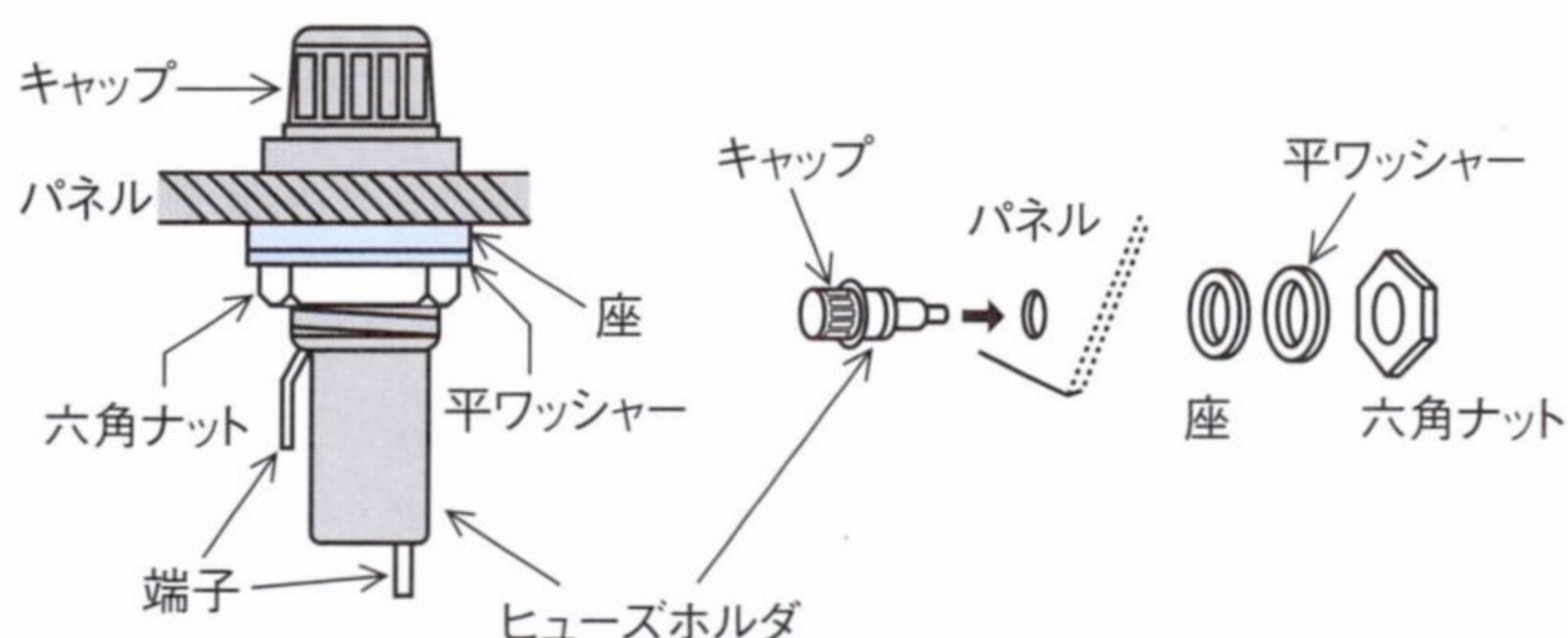
AC電源をショートさせたときなどの保護用にヒューズを挿入しておきます。パネル取り付けタイプと基板用があります。パネル取り付けタイプの取り付けには大き目の丸穴が必要ですので、リーマで広げてあけます。また、空回り防止用の突起がありますので、丸穴をあけたあと、小型丸ヤスリでその突起の部分を削りぴったり合うようにします。ヒューズは管型のものを使います。

ヒューズには管型のものを使う。電流値は使用する機器の消費電流に合わせる

◆写真2.14.10　ヒューズとヒューズホルダ

(3) ACソケット

外部にAC100Vを供給するときにパネルに取り付けるタイプのソケットです。写真2.14.9の右端の写真はフィルター付きのもので、アンプなどのノイズを嫌うものに使います。必要に応じて取り付けますが取り付けには四角穴が必要です。

COLUMN　パネル取り付け形ヒューズの取り付け方法

第3章

設計の仕方の基礎

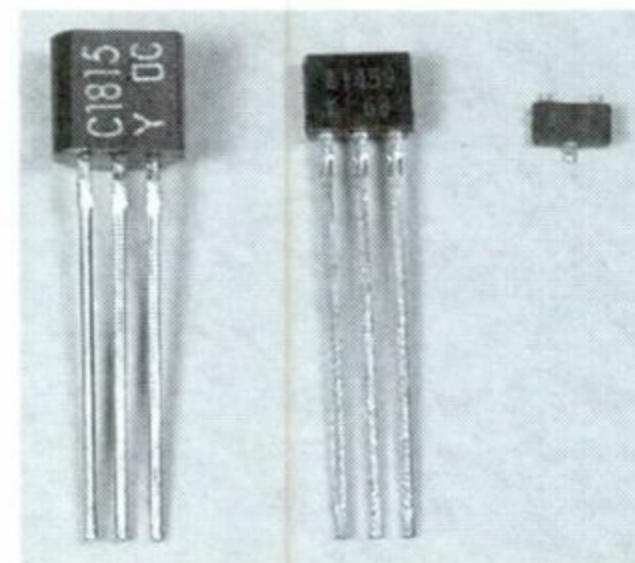
電子工作を楽しもうと思ったら、やはり自分で設計したいと思うのは皆同じだと思います。しかしアナログからデジタルと非常に広範囲の知識を必要とするため、なかなか取り付きがたいのも確かです。広い範囲の知識を必要とする電子工作ではありますが、そこは歴史のある分野、先人が残してくれた資産がたくさんあります。

つまり、多くの種類のある電子回路ですが、それぞれに標準回路ともいうべき回路があり、まずはそれを使って電子工作を楽しみながら覚えていけば、知らぬ間に自分で設計ができるようになります。

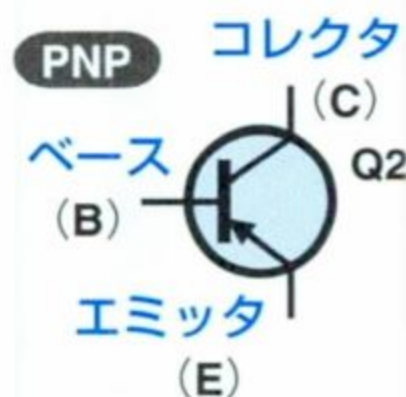
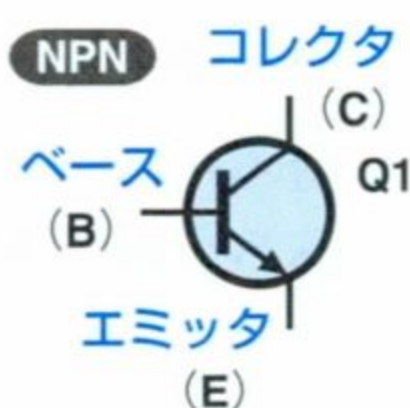
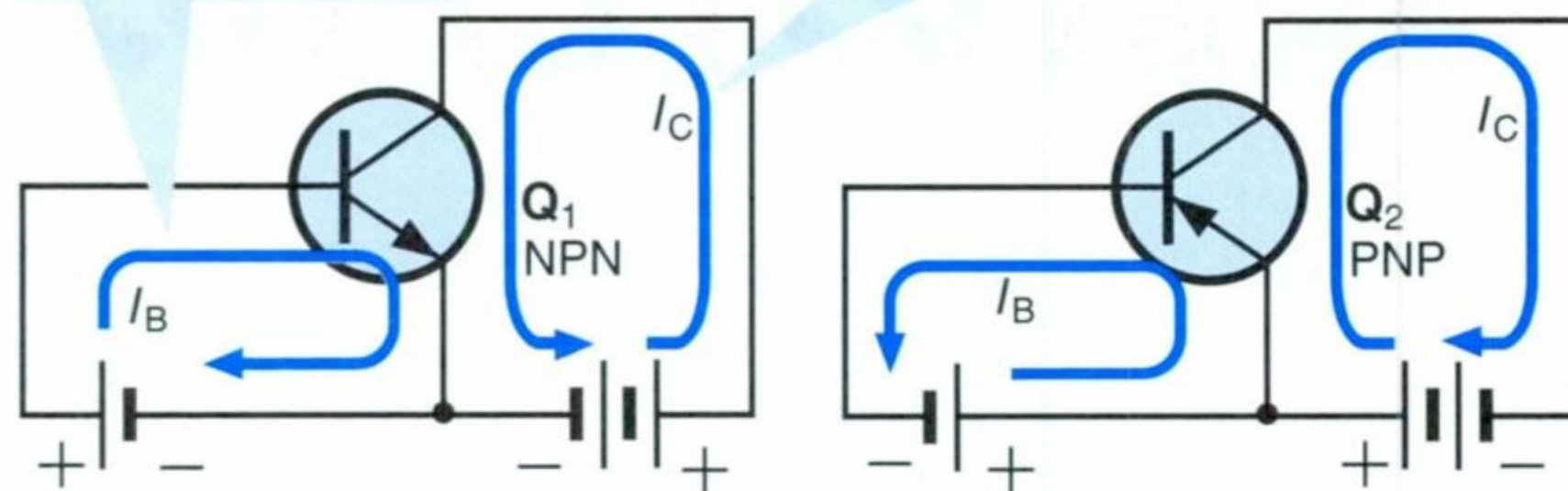
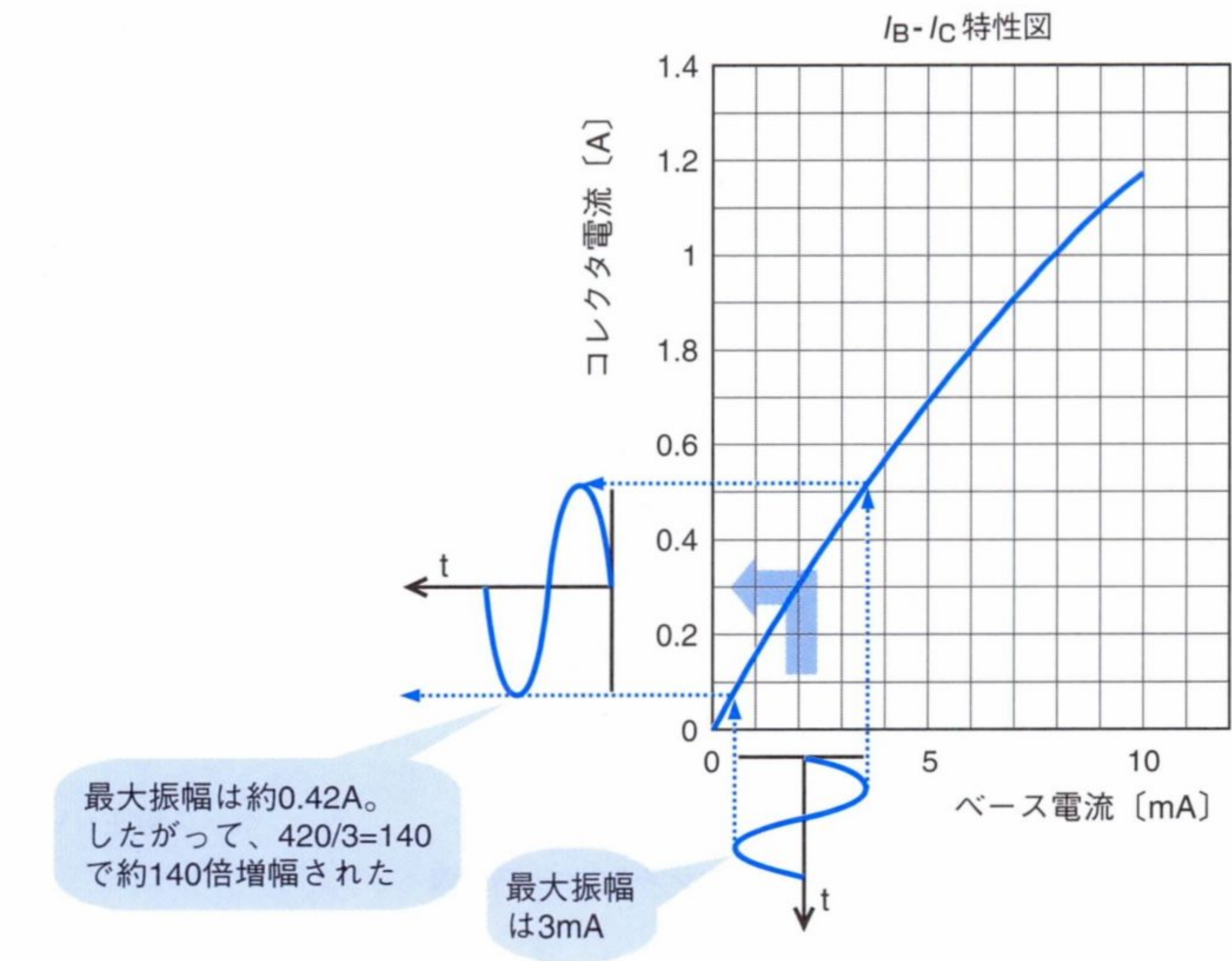
本章では、これらの標準回路を使えるようにするまでの基礎知識や、回路を読むときのポイントを説明します。これだけのことがわかっていれば、先人の標準回路を理解して使うことができるという内容です。したがってこれで全部というところまでは行きませんが、いろいろな本や雑誌に描かれている回路を理解して、試してみようとすることができるレベルを目標とします。

3-1 トランジスタ回路の設計法

参照
トランジスタ → p.64

ICが全盛の時代ですが、トランジスタもちょっとしたドライブ用や信号増幅などに使われる場合もまだ多く残っています。われわれアマチュア工作でも簡単な回路で増幅やドライブ回路が構成できるので、まだまだ現役で使う機会が多くあります。ここでは、難しい理論的な話は抜きにして、まずは動作させるために必要なことを説明していきます。

◆写真3.1.1　トランジスタ

3-1-1 トランジスタの機能

トランジスタそのものの機能を一言でいうと**電流増幅機能**となります。つまり、図3.1.1のようにトランジスタを見たときに、ベース電流I_B対コレクタ電流I_Cの関係は図3.1.2のようにほぼ比例関係になります。

◆図3.1.1　トランジスタの増幅機能

◆図3.1.2　トランジスタのI_B-I_C特性

この関係を利用すれば、例えば、図3.1.2のようにベース電流を一定時間で正弦波状に変化させたとすると、コレクタ電流も同じように正弦波状に変化することになります。ここで重要なことはベース電流の数mA程度のわずかな変化に対して、コレクタ電流が100倍以上の値で大きく変化していることです。つまり増幅されていることになるわけです。

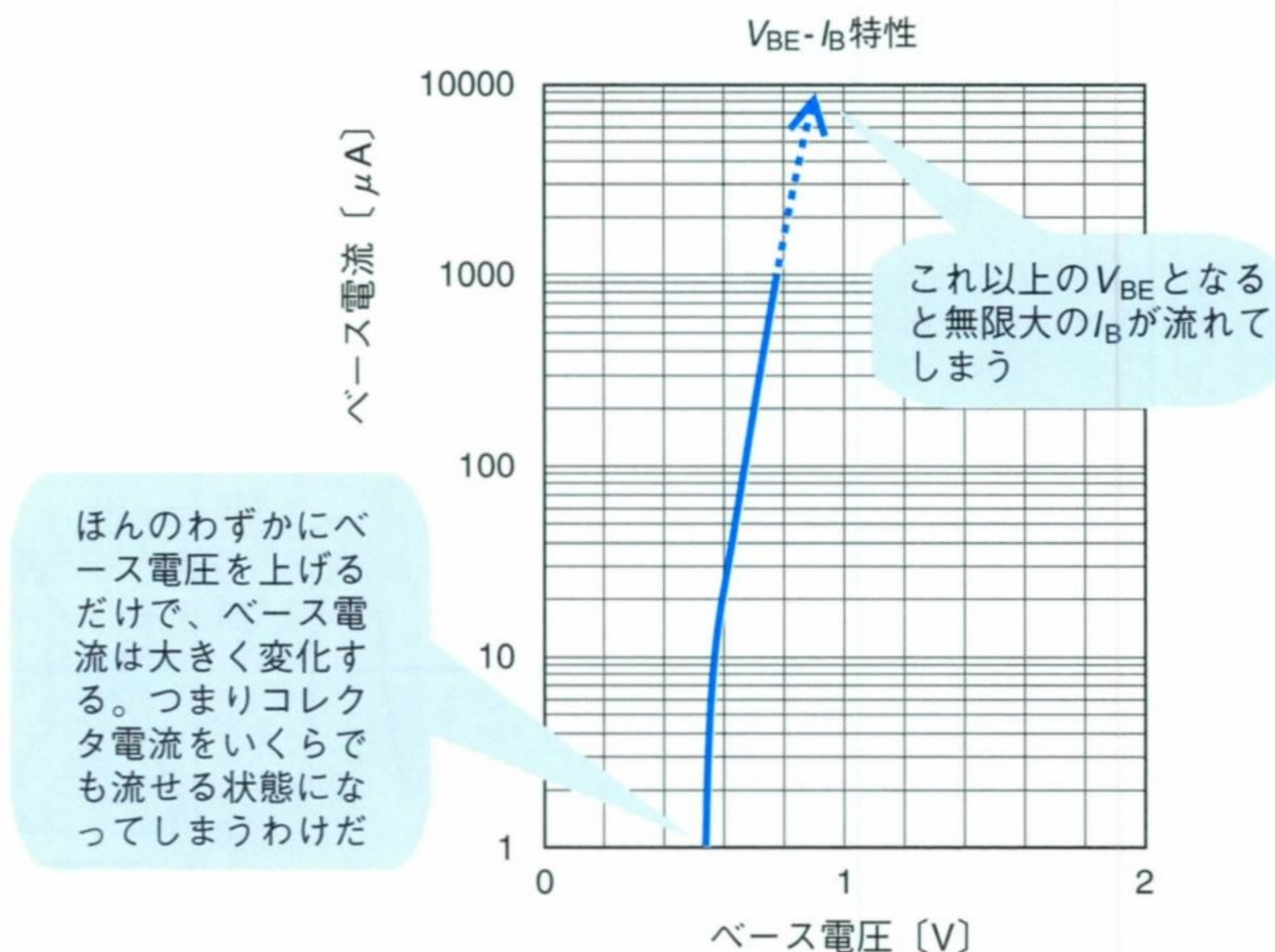
アドバイス
電子部品を使う際は、常にその部品の特性を考えて使うようにします。

この機能を使うとき、ベース電流のどこを中心にして変化するように工夫すれば、ちょうどよい出力が得られる増幅になるかということが課題となります。この工夫をすることがトランジスタ増幅回路の設計そのものになります。

■トランジスタには抵抗が必要

もうひとつのトランジスタの使い方は、ベース電流が“0”でコレクタ電流も“0”の状態（これを**OFF状態**と呼ぶ）と、多めのベース電流を流してコレクタ電流が十分流れる状態（これを**ON状態**と呼ぶ）の2値で使う使い方で、いわゆるデジタル回路用として使います。

このとき図3.1.3からわかるように、ベース電流は、ほんのわずかにベース電圧を変化させるだけで大きく変化し、しかも電圧が一定値以上になるとコレクタ電流はいくらでも流せる状態になってしまいます。このままではトランジスタが熱くなって壊れてしまいますので、何らかの方法で電流を制限することが必要になるわけです。これでトランジスタ回路に抵抗が必要なことが理解できるかと思います。

常識
トランジスタ回路は、抵抗で電流を制限して使用すること。

◆図3.1.3　トランジスタのベース電流

3-1-2 トランジスタのドライブ回路での使い方

参照
・セグメント発光ダイオード → p.101
・リレー → p.120

最近は、後述するオペアンプが非常に使いやすく、安価になったためアナログ増幅回路にトランジスタを使うことは高周波用途以外にはなくなってしまいました。このためトランジスタの用途は大電流や高電圧の負荷をドライブする用途がほとんどです。

例えば、セグメント発光ダイオードの桁ドライブ、モータやリレーのドライブ、電源のON／OFF制御、照明灯の制御などが対象で、マイコンなどのデジタルICの出力では直接制御できないような場合にドライブ用として使う使い方です。ここではドライブ回路用としてトランジスタを使う方法を説明します。

■ドライブ用に使うときの選択方法

実際にトランジスタをドライブ用に使うときの選択方法ですが、前章で説明した規格表を参考にして選びます。実際に回路設計をするときに、ドライブ用トランジスタの規格で大切なポイントは下記の4点となります。

参照
・トランジスタの規格 → p.66

① 何ボルトまで使えるか

最大定格の中の**コレクタ・エミッタ間最大定格電圧**（V_{CEO}）で見ます。そして実際には、これの1／2以下の電圧で使うようにします。

② 何アンペアまで流せるか

これは2つの観点から考えます。まず、**コレクタ最大定格電流**（I_C）は絶対超えられない値です。これも実際の使用では1／2以下で使います。

もう一つは**最大全損失**（P_T）で、何ワットまで使えるかということです。考え方は、

（流せる電流）＝（全損失）÷（使う電圧 V_{CE}）

で考え、やはりこれの1／2以下で使うようにします。しかし、全損失は放熱板の有無と、周囲温度で極端に変わるので、グラフで確認して使います。

③ 何倍の増幅ができるか

直流電流増幅率（h_{fe}）で単純に入力電流が何倍になって出力されるかがわかりますが、非常にMinとMaxの差が大きいので、Minで考えておく必要があります。あるいはh_{fe}の大きさで分類されているものもあるので、それを指定して入手することも可能です。

④ どれくらいの周波数まで使えるか

参考

ドライブ用として使う場合は、周波数特性は、オン・オフの立ち上がり、立ち下りの早さに影響します。

これは、**利得帯域幅積**（f_T）で判定しますが、その判定は、下記のようにします。

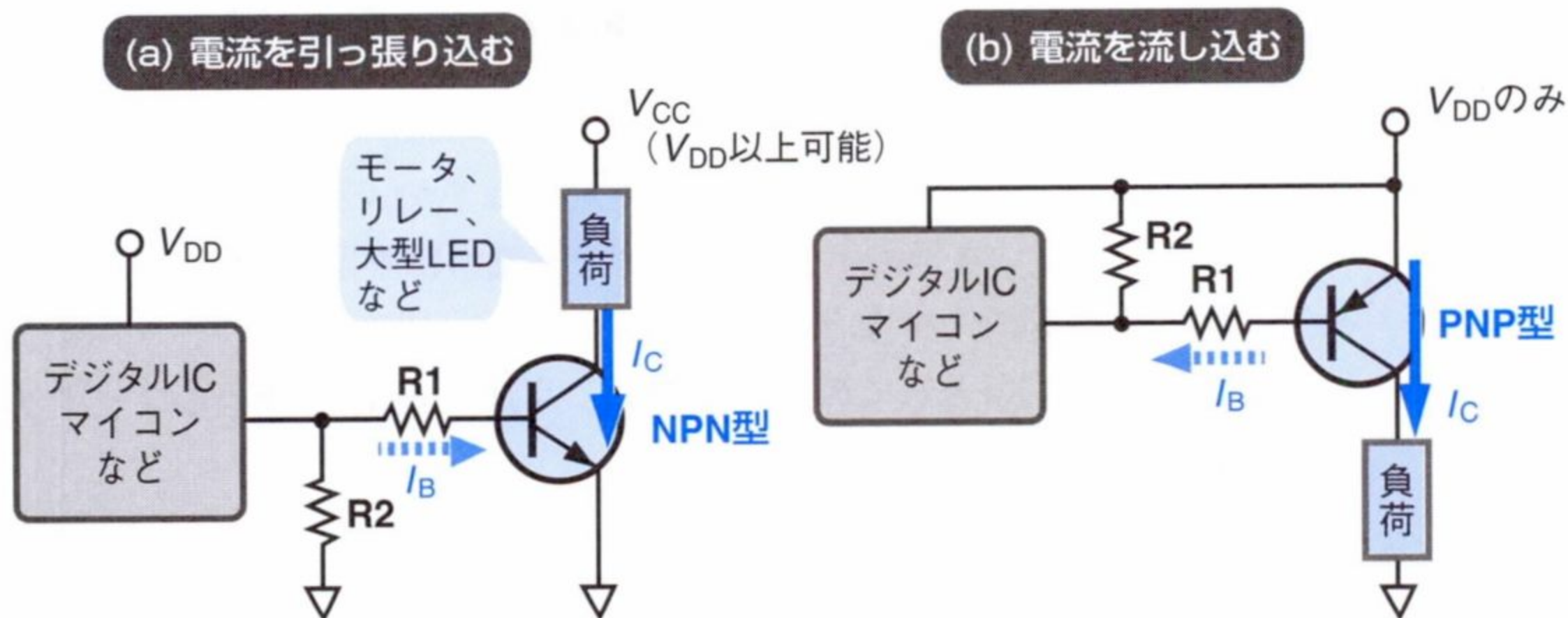
（使用可能な周波数帯域）＝（利得帯域幅積（f_T））÷（直流電流増幅率（h_{fe}））

この値が使う周波数に十分対応できるものを使います。

これらの規格をベースにしてトランジスタを選定するのですが、そうはいっても類似のトランジスタが非常にたくさんあって選択に困るのが実際です。関連書籍やメーカのホームページを参考にして選定するとよいでしょう。

■ドライブ回路の基本構成

次に実際の大きな負荷の制御用としての回路ですが、この大きな負荷とはどういうことかというと、数10mA以上の電流が流れたり、数V以上の電圧が必要な負荷で、マイコンやデジタルICでは直接ドライブすることができない負荷をいいます。

例えば、モータの制御や、リレーや大型発光ダイオードなどのドライブです。このようなときには、トランジスタをうまく使います。このときの使い方の基本回路構成は図3.1.4のようにします。

◆図3.1.4 ドライブ回路の基本構成

図のように、ドライブ回路は、大別して、負荷の電流を引き込んでやるのか、流し込んでやるのかによって(a)、(b)の2つの使い方があり、それぞれに使うトランジスタもNPN型とPNP型で使い分けが必要です。

アドバイス

エミッタ接地の基本回路です。

・(a)の場合

デジタルICをHighの出力にすると、電源電圧V_{DD}を5Vとした場合V_{DD}に近い4.5V以上の出力電圧になりますから、抵抗R1を通してトランジスタにベース電流I_Bが流れ、トランジスタがONとなり、コレクタ電流I_cが流れて負荷に電流が流れます。

デジタルICの出力がLowになると、トランジスタのベース・エミッタ飽和電圧V_{BE}(0.6V程度)より低い出力電圧(0.2V程度)となり、I_Bが流れなくなりますからトランジスタがOFFとなり、負荷の電流も流れなくなってしまいます。これで、デジタルICのHigh/Low出力で負荷の制御ができることになります。この回路のメリットは、ON/OFFの制御がベース・エミッタ飽和電圧V_{BE}だけで決まるため、負荷側の電源電圧V_{CC}を自由に選べることです。

注意

(b)の使い方をする場合は、負荷側の電源電圧は5Vに制限されるので注意してください。

・(b)の場合

(a)とは逆で、デジタルICの出力がHighになると、電源電圧に近い出力電圧となりますから、PNPトランジスタのベース・エミッタ飽和電圧V_{BE}が−0.6V以下になり、トランジスタがOFFとなって負荷の電流は停止します。

デジタルIC出力がLowとなるとトランジスタがONとなって負荷に電流が流れることになります。つまり(a)のNPNトランジスタの場合とはデジタル出力のHigh/Lowが逆の動作になります。

どちらの回路を使うかは負荷によりますが、大部分は(a)の回路が使われます。ただし、PNPトランジスタを使う(b)の場合には、負荷側の電源電圧も5Vに制限されてしまいますので注意が必要です。

注意

図3.1.4のように、マイコンやデジタルICなどのドライブする側が余裕を持って流せるかどうか、注意してください。

■電流増幅率が高いトランジスタが必要なケース

ドライブ回路に使うトランジスタは、ドライブする電圧と流す電流を気にすればよく、最大定格で選定します。ただし、ドライブしなければならない電流が大きい場合には、電流増幅率を気にすることが必要になってきます。つまり、

(ドライブ電流 I_B) = (制御する電流 I_C) ÷ (電流増幅率 h_{fe})

で求まるドライブ電流をトランジスタのベースに流してやることが必要になります。

これが不足しているときは、もっと電流増幅率h_{fe}の高いトランジスタに変更する必要があります。1個のトランジスタで電流増幅率h_{fe}が不足するときには、ダーリントントランジスタなどに変更します。

なお、ドライブ用としての使い方では、高速でON/OFFしない限り周波数特性は気にする必要はないでしょう。

用語解説

・ダーリントントランジスタ
2個のトランジスタをチップ内部でダーリントン接続したもの。電流増幅率が2個のトランジスタの積となるため、電流増幅率が非常に大きな1個のトランジスタとして使うことができる。

■注意すること

この回路(図3.1.4)で注意しなければならないことが2つあります。それが図中の抵抗R1とR2の働きです。

① ベースに電流が流れ過ぎないようにすること

トランジスタをONするときには、電流をベースに流し込みます。このときド

ライブ側に電流を制限する機能がなければ図3.1.3のようにいくらでも電流が流れてしまい、トランジスタやドライブ側が熱くなって壊れることもあり得ます。そこで、電流制限用の抵抗R1を挿入します。この抵抗の抵抗値は、V_{DD}が5Vのときは下記で求めます。

（抵抗値）＝（ON電圧－0.6V）÷（最大ベース電流）･･･(a)のとき
（抵抗値）＝（5V－ON電圧）÷（最大ベース電流）･･･(b)のとき

例えば、(a)の回路でモータ制御をするとき、200mAの電流を制御する場合は、トランジスタの電流増幅率が100とすれば、

ドライブ電流＝200mA／100＝2mA

余裕を見て2倍して4mAとします。したがってON電圧は標準的には、ほぼ5Vですから、

抵抗値＝（5－0.6）V÷4mA＝1.1kΩ

と求められますので、これに近い標準値の1kΩを挿入します。

② 電源ON時に出力が不安定にならないようにすること

特にマイコンなどで直接トランジスタをドライブする場合、電源ON直後はマイコンの出力が3ステートのハイインピーダンスになっていることがあります。そうすると、トランジスタはその間はONでもOFFでもない中途半端な状態になってしまうことがあります。そこでこれを避けるために、トランジスタのベースを抵抗でグランド（PNPのときは電源）に抵抗R2で接続してしまいます。

こうすることで、電源投入直後もトランジスタのベースは0V（PNPのときは電源電圧）のいずれかに明確に決まりますから、必ずOFF状態となり不安定な状態はなくなります。

この場合の抵抗値はベース漏れ電流としてわずかに電流が流れるだけですから、10kΩ程度でよいでしょう。

用語解説

・3ステート（トライステート）
マイコンなどの出力で、Low（0V）、High（5V）以外に、ハイインピーダンスの状態になるものがある。このように3種類の出力状態を持っているものを3ステートとかトライステートとか呼んでいる。
ハイインピーダンス状態では何も接続されていないのと同じ状態となる。

・ハイインピーダンス
電気的に接続されていない出力状態。

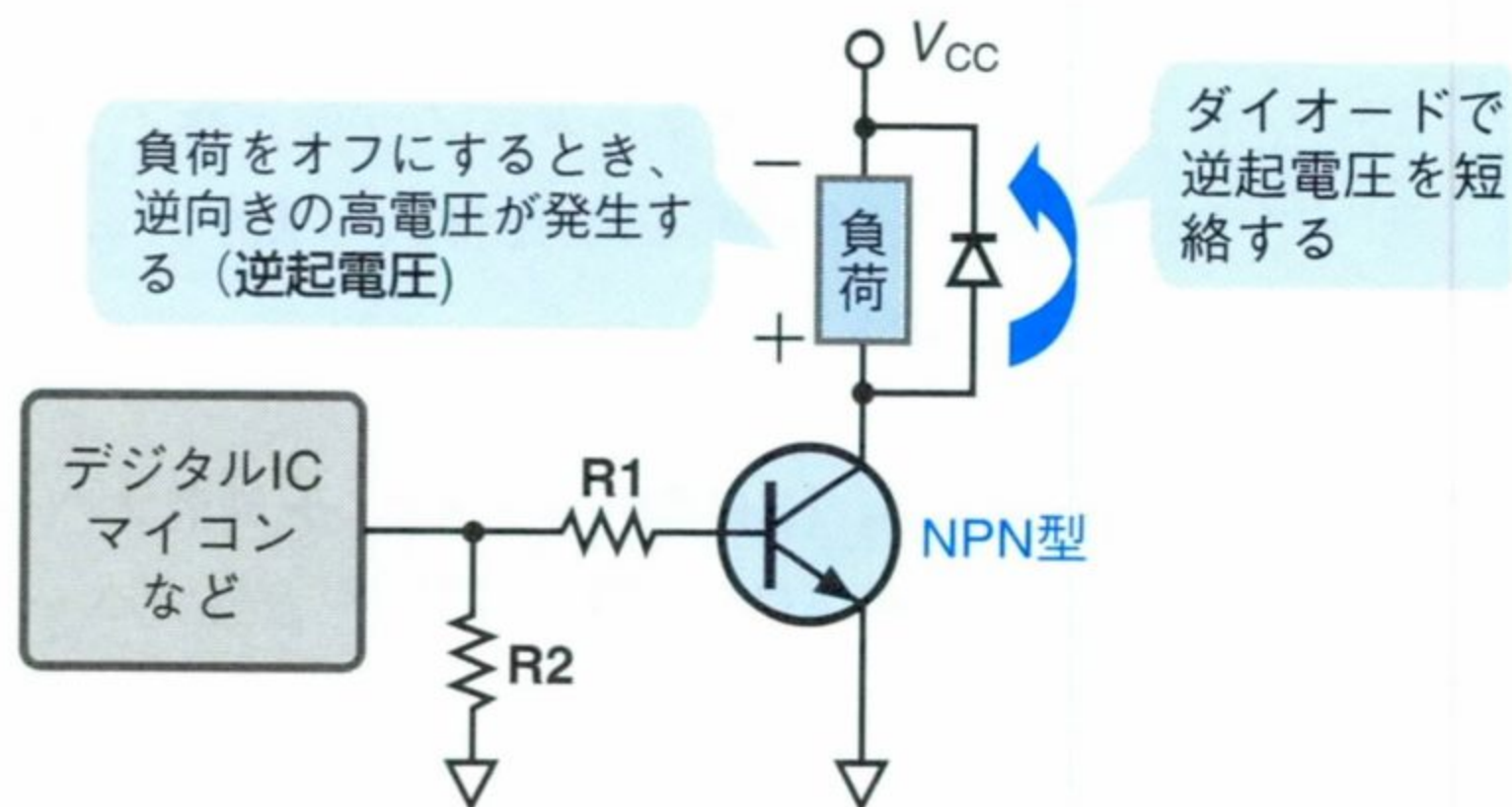
③ コイル（モータやリレーなど）の逆起電圧に注意

トランジスタでドライブする負荷が、モータやリレーなどのコイルのときには、逆起電圧に注意する必要があります。つまり、コイルの電流をONからOFFする場合、その瞬間には、逆向きの高い電圧がコイルの両端に発生します。これを何もしないでおくと、この逆起電圧がトランジスタのコレクタ・エミッタ間に加わり、場合によってはトランジスタが壊れることもあります。

そこで、これを防止するため、図3.1.5のような向きでダイオードをコイルの両端に並列に接続します。こうすると発生する逆起電圧はダイオードでショートされてしまいますので高電圧は発生しません。

さらにこのとき発生する高い電圧が雑音となってデジタル回路が誤動作することもありますので、ダイオードはコイルにできるだけ近い位置にとりつけ、配線を伝って雑音が電波として飛ばないように、逆起電圧を近い場所でショートして流してしまいます。

用語解説

・逆起電圧
逆向きの高い電圧。

◆図3.1.5　コイルの逆起電圧対策

④ トランジスタの発熱に注意

トランジスタがONになったときには、飽和時コレクタ・エミッタ電圧（V_{CE}）×コレクタ電流（I_C）のパワーが全て熱になりますから、電流が多いときにはかなりの発熱になります。したがって、きちんとした放熱設計が必要で、場合によっては放熱板（放熱器）を付けてやる必要もあります。

3-1-3　電界効果トランジスタ（FET）の使い方

電界効果トランジスタは、入力インピーダンスが非常に高いということと、ON時のドレイン・ソース間抵抗が非常に小さいという2つの特徴がそれぞれ活かされた使い方がされます。特にパワーMOSFETのON抵抗は非常に小さく、電流をたくさん流しても発熱を少なくでき、負荷に効率よくエネルギーを伝達できるため、大電流制御を必要とするモータドライブなどに多用されています。

ここでは主にパワーMOSFETのドライブ回路での使い方を中心に説明します。ドライブ用に使うMOSFETを選択するポイントは下記の3点となります。

参照
・パワーMOSFET（MP4212）を使った製作例 → p.291

アドバイス
p.72で紹介した「2SK4033」はパワーMOSFETに分類されるFETです。

参考
最近は、ドライバに使うようなパワー用FETでは、このしきい値電圧が、数V程度になっていることが多くなりましたので、デジタル回路との接続が非常に容易になりました。

アドバイス
これらの規格をベースにして電界効果トランジスタを選定するのですが、トランジスタ同様、関連書籍やメーカのホームページを参考にするのがよいでしょう。

① 何ボルトまで使えるか

最大定格の中のドレイン・ソース間最大定格電圧（V_{DSS}）で見ます。実際には、これの1／2以下の電圧で使うようにします。

② 何アンペアまで流せるか

2つの観点から考えます。まず、ドレイン最大定格電流（I_D）は絶対超えられない値です。これも実際の使用では、1／2以下で使います。

もう一つは許容損失（P_D）で、何ワットまで使えるかということです。考え方は、

（流せる電流）＝（全損失）÷（使う電圧 V_{DS}）

で考え、やはりこれの1／2以下で使うようにします。しかし、この全損失は放熱板の有無と、周囲温度で大きく変わるので、グラフで確認して使います。

③ 何VでON／OFFが切り替わるか

デジタル回路のドライバとして使うときには、トランジスタと異なり、電圧だけで負荷の電流をON／OFFできますが、そのON／OFFの境目が何Vかと

いうことです。これはゲートしきい値電圧（V_{th}）で確認します。

■MOSFETを使ったドライブ回路

参考

MOSFET N
ドレイン（D）
ゲート（G）
Q5
ソース（S）

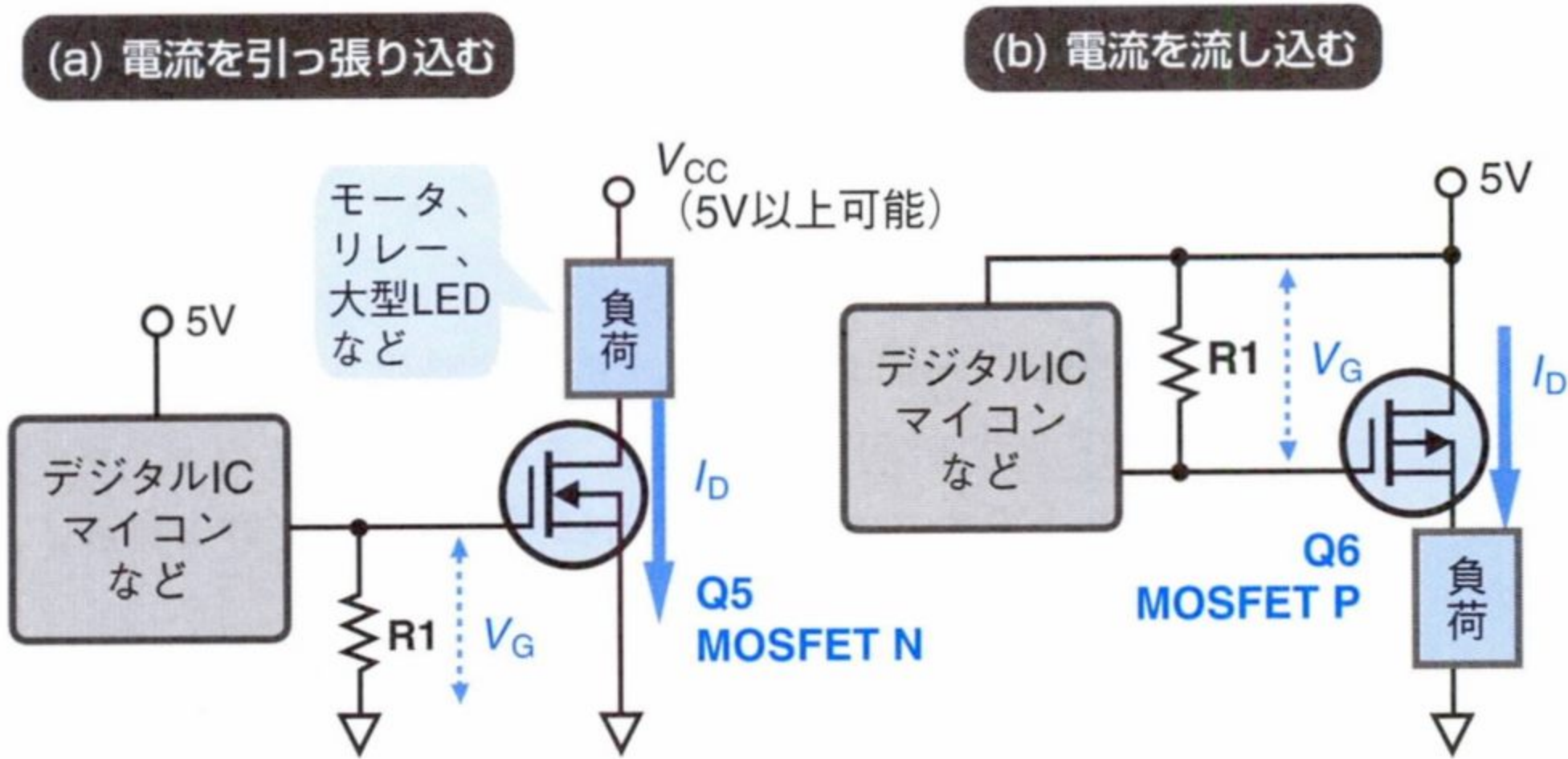
MOSFET P
ドレイン（D）
ゲート（G）
Q6
ソース（S）

MOSFETを大電流のドライバとして使うには、Nチャネルのパワー MOSFETを使用します。この場合の基本回路は図3.1.6のようにします。PチャネルのFETは図のようにしますが、ドライブ回路ではあまり使われません。

(a) 電流を引っ張り込む

V_{CC}（5V以上可能）
モータ、リレー、大型LEDなど
負荷
5V
デジタルIC マイコン など
R1
V_G
I_D
Q5 MOSFET N

(b) 電流を流し込む

5V
デジタルIC マイコン など
R1
V_G
I_D
Q6 MOSFET P
負荷

◆図3.1.6　FETドライブ回路

■MOSFETの選定

この回路ではFETの選定に注意が必要です。まず、ゲートしきい値電圧で、デジタル回路の出力はHigh（4.5V以上）かLow（0.2V以下）ということになりますから、この範囲に、できれば真中あたりにしきい値電圧があるものが必要です。最近のパワー MOSFETは、しきい値が2V程度のものが用意されていますので、これらの中から、許容電流を加味して選択します。

■必要な回路素子

必要な回路素子はR1の抵抗だけで、この抵抗はデジタル回路がハイインピーダンス状態のときにFETをOFFにするためのものですから、数kΩから20kΩ程度の中から選べばよく、特に計算で求める必要はありません。また、FETの場合にはゲートにはほとんど電流は流れず、電圧だけで動作するので、トランジスタのような保護用の直列抵抗も必要ありません。

パワー MOSFETを使った場合には、ON抵抗は数Ω以下にできますから、負荷にはほぼV_{CC}に等しい電圧をロスなく加えることができます。さらにFET自身も熱の発生が少ないため、トランジスタよりも使いやすいといえます。

■注意すること

パワー MOSFETを使用する際は、以下のことに注意します。

① コイルの逆起電圧

モータやリレーなどのコイルをドライブするときは、トランジスタ同様逆起電圧への対策が必要です。図3.1.5と同じ方法で対策します。

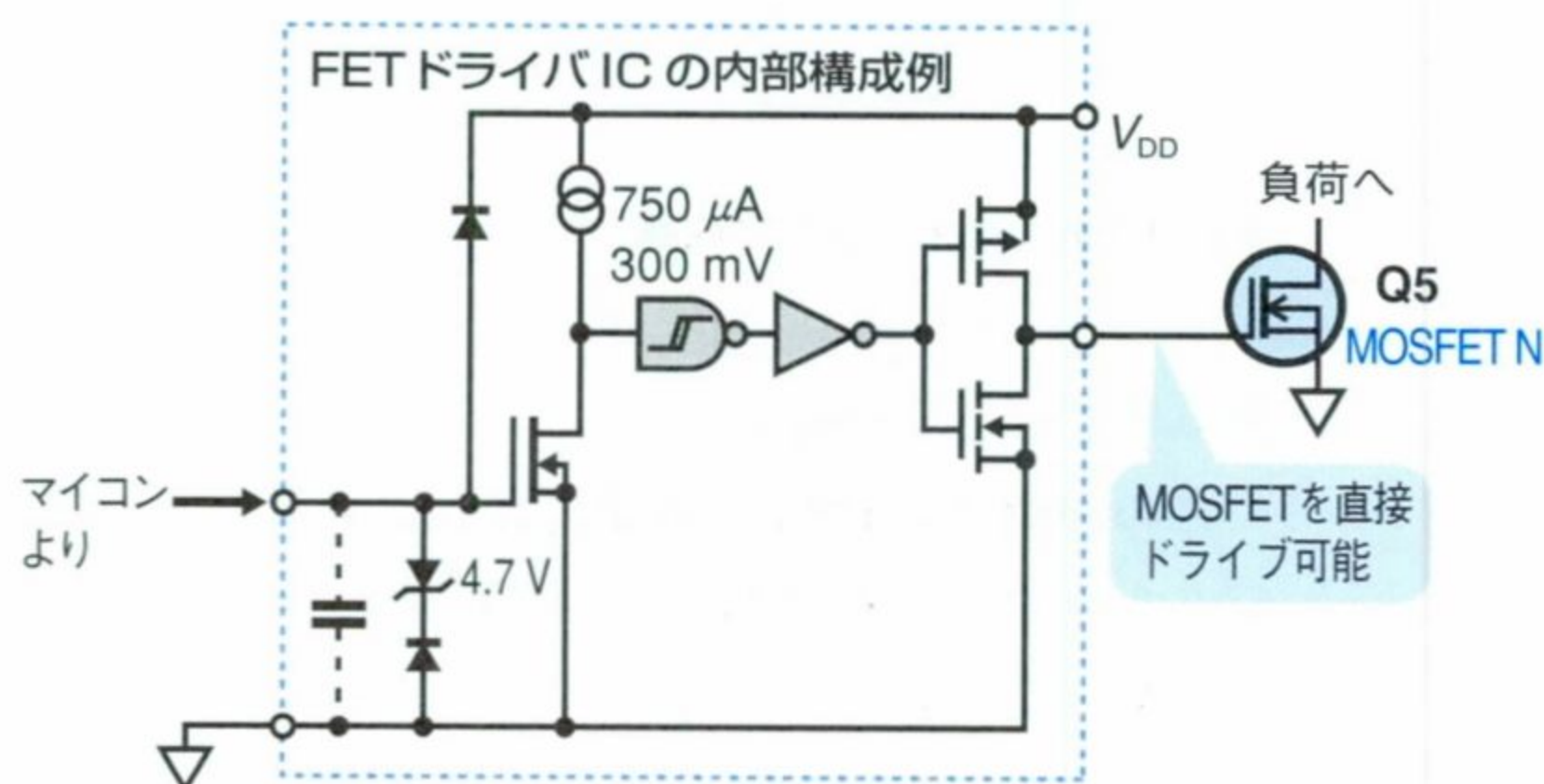
② 高速のドライブにはFETドライバICを使う

モータをパルス幅制御（PWM）にして可変速制御をするときなど、MOSFETを高速でオン／オフ制御する場合に問題になることがあります。それはMOSFETのゲートには結構大きな容量の寄生容量があるため、ゲートを高速でスイッチングしようとすると、この寄生容量（コンデンサ）のため、スイッチング遅れが発生してしまいます。

この対策には結構複雑な回路を必要としていたのですが、最近ではFETドライバICという専用のICが発売されていますので、これを使えば高速のスイッチングをしても効率よくドライブできます。

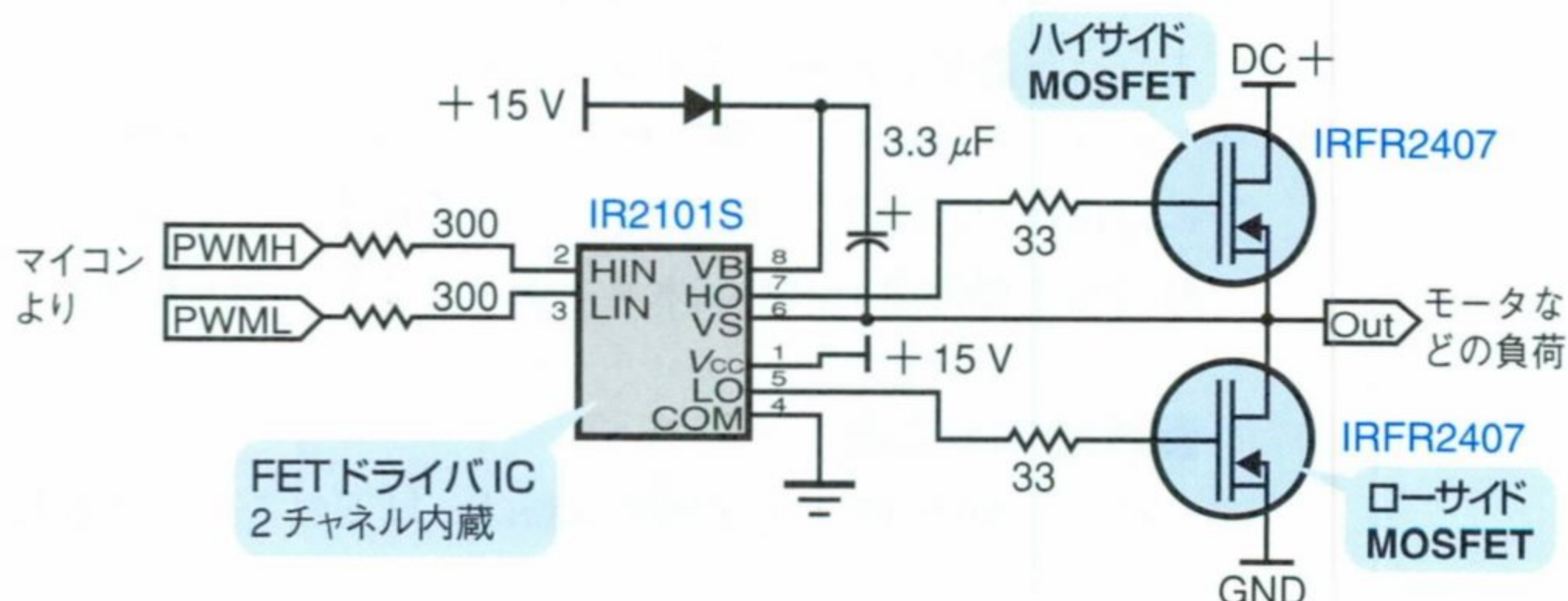
■FETドライバICとは

FETドライバICの内部構成と簡略化した接続例を図3.1.7に示します。

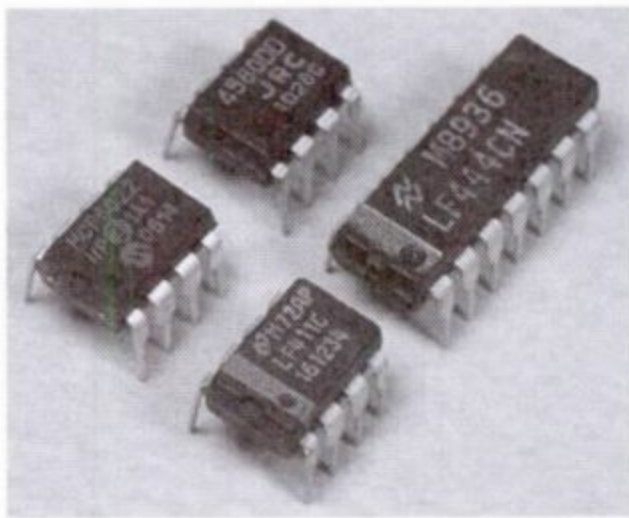
FETドライバICの最終段にある2個のトランジスタが、MOSFETのゲートをオンのときもオフのときも強力にドライブして寄生容量による遅れを最小にします。

◆図3.1.7 FETドライバICの使用例（マイクロチップ テクノジー社データシートより）

参照
・フルブリッジ→p.88

教えて
5章：ラジコン車の回路では、マイコンとMOSFETの間にFETドライバICを入れていません。どうして？
〔回答〕
制御する負荷電流がそれ程大電流ではなく、PICの入出力ピンのドライブ電流で十分MOSFETを駆動できるためです。

実際の使い方ではモータをフルブリッジ構成でドライブしますので、図3.1.8のようにハイサイド（電源側）とローサイド（GND側）のMOSFETをペアでドライブできるように、2チャネルの駆動回路を内蔵したFETドライバICを使います。これで回路を構成すればすっきりした回路で強力なドライブ回路が構成できます。

◆図3.1.8 FETドライバICの実際の使用例（マイクロチップ テクノジー社データシートより）

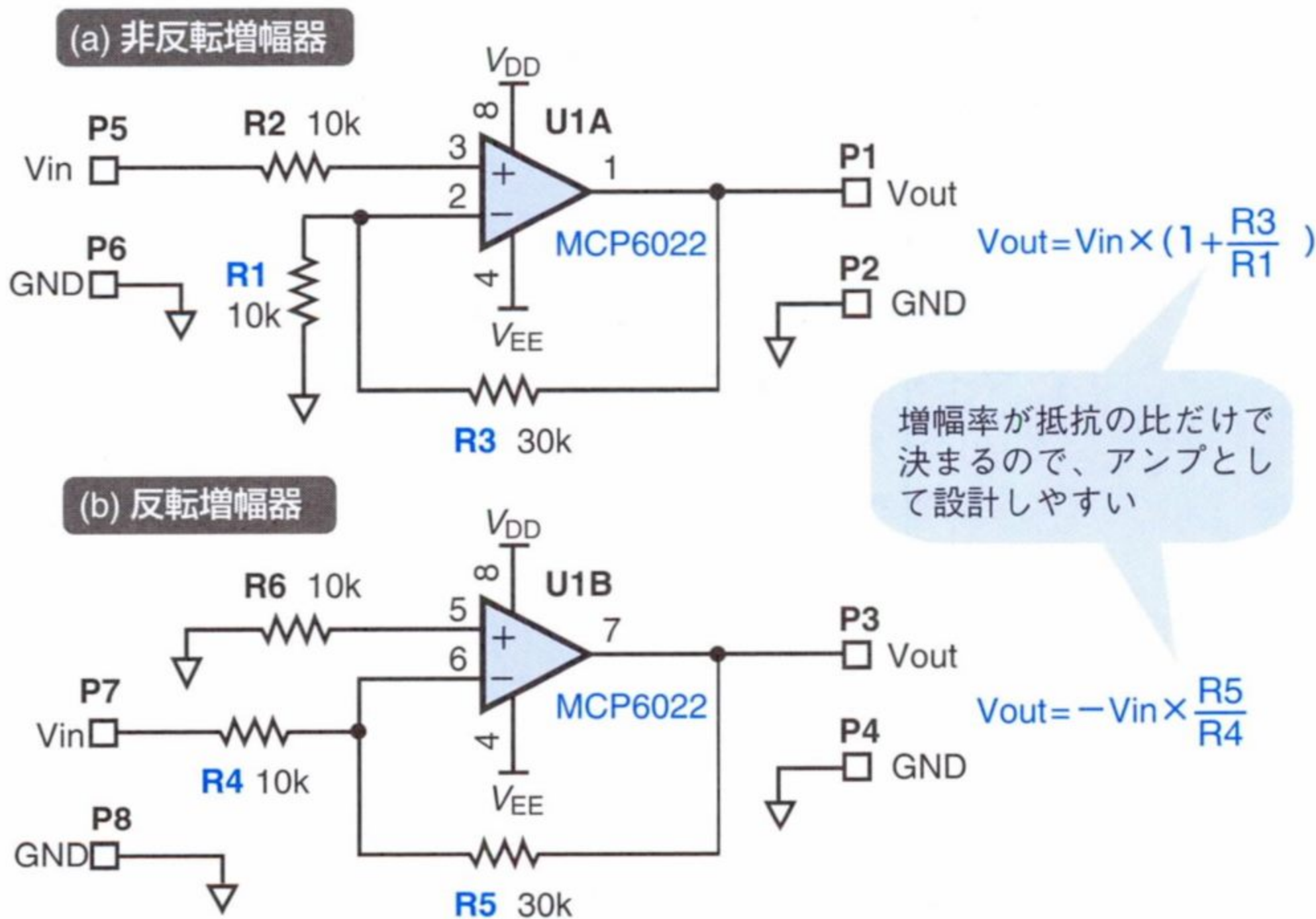
3-2 オペアンプ回路の設計法

オペアンプはアナログ信号を増幅するための基本のICです。このオペアンプとデジタルIC（A/D変換など）をうまく組み合わせると、いろいろな応用が可能となり、いよいよ電子工作が面白いものになります。

◆写真3.2.1　オペアンプ

参照

・オペアンプ → p.75
・反転増幅回路 → p.77
・非反転増幅回路 → p.78

オペアンプの部品に関する説明は前章で説明しました。ここでは、具体的にオペアンプを使った回路設計方法を説明します。

最も基本となる回路は前述した図3.2.1の**反転増幅回路**と**非反転増幅回路**です。いずれの場合も増幅率（ゲイン）が抵抗の比だけで決まりますので正確で安定なアンプを作ることができます。

◆図3.2.1　オペアンプの基本回路

用語解説

・**A/Dコンバータ**
アナログ信号の電圧をデジタルの数値に変換する装置。

オペアンプの応用回路は目的によって非常にたくさんの回路があります。そこで、ここではマイコンなどのA/Dコンバータの前段増幅器としてのオペアンプ回路を中心に説明していきます。

まず、オペアンプの基本動作は、入力に信号が加えられたらそのままゲイン倍して出力に同じ形の信号として出力することです。この簡単なことを実現するために、設計で考えなければならないことがいくつかあります。それを表3.2.1にまとめました。

◆表3.2.1 オペアンプ回路設計上のポイント

項目	課題	検討内容
振幅電圧	扱う信号にプラス／マイナスがあるか	出力信号にプラス／マイナスが必要な場合には、電源もプラス／マイナスが必要になる。信号が片側の極性だけのときは単電源でもよい。
	入力信号の振幅電圧の全範囲を正しく出力できるか	入力電圧はゲイン倍されて出力されるので、電源電圧がこれを上回っていることが条件となる。さらにオペアンプ自体の最大出力振幅電圧が関係する。
オフセット	入力0のとき、出力も0になるか 温度などによる変動範囲	特に高精度な直流アンプの場合には誤差になるので問題になる。オペアンプ自身にオフセット変動の少ないものを使い、さらにオフセット調整ができる回路にする。
周波数特性	扱う周波数全範囲で正しくゲイン倍されているか	オペアンプ自体の周波数特性と設定ゲインで決まる。
スルーレート	入出力が同じ波形になっているか	オペアンプ自体のスルーレート特性で決まる。

3-2-1 オペアンプの電源供給方法

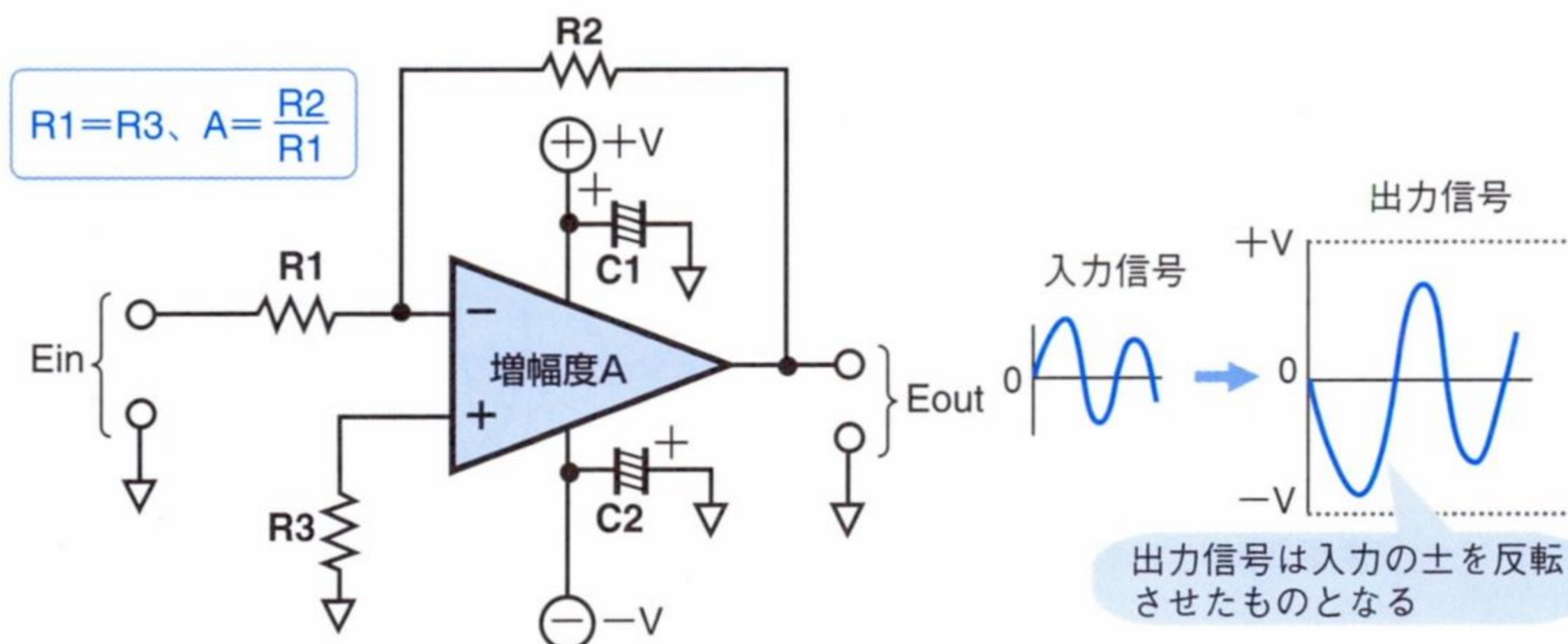
オペアンプへの電源は、基本として扱う信号が交流であることから、プラスとマイナスの2**電源方式**が基本となっています。しかし、最近ではマイコンなどのロジック回路との接続が多くなってきたため、マイナス電源を除いた単電源で使えるような**単電源用オペアンプ**も多くなってきました。それぞれの場合の電源供給について説明します。

■2電源方式の場合

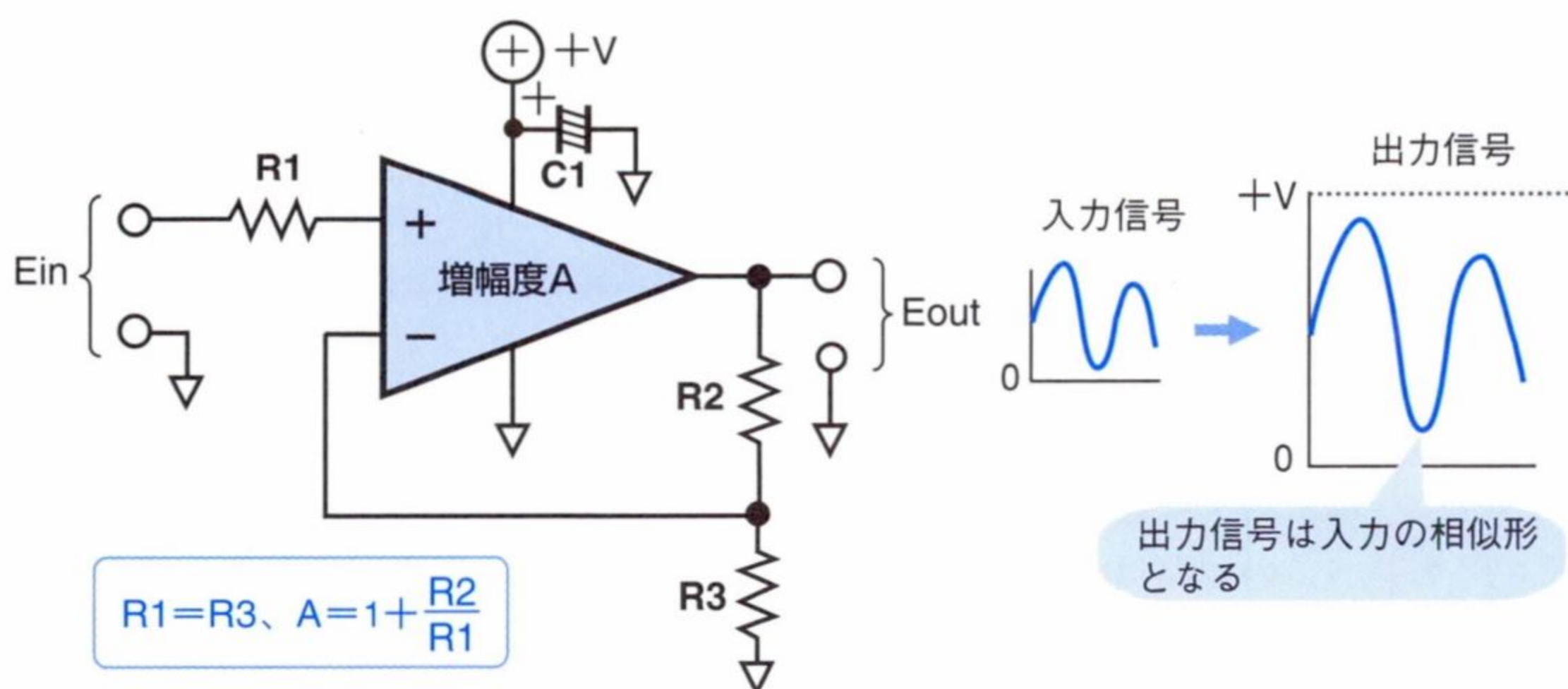
プラスとマイナスの電源を使い、信号入出力はグランドレベルつまり0Vを基準とします。これを実際の回路図で表すと図3.2.2となり、入出力の信号は図のように±が反転した形となります。

この回路でのポイントは、図のようにプラスとマイナスの両電源ピンの近くにパスコンC1、C2を接続しておくことです。これで電源から混入するノイズに対するフィルタの役割と、オペアンプ自身の急激な消費電流変動に対するバッファの働きをして安定な動作を確保します。

参照
・パスコン→p.25

この回路の入力部分の回路は基本構成のままで問題なく動作します。電源電圧の正負の電圧値そのものが多少異なっても、入出力信号はグランドとの電位差だけで動きますから、影響はありません。ただし、出力信号の最大振幅電圧は低い方の電源電圧で制限されます。

◆図 3.2.2　2電源方式の基本回路

■単電源方式の場合

プラス側だけの信号を扱えばよい場合には、オペアンプを単電源で使うことができます。このときの標準回路は図3.2.3のような**非反転増幅回路**にします。つまり、図のように入力も出力もプラス側だけの振幅となるので出力は入力をゲイン倍した相似形となります。この場合にも電源にパスコンが必要なことは同じです。

◆図 3.2.3　単電源によるオペアンプの駆動

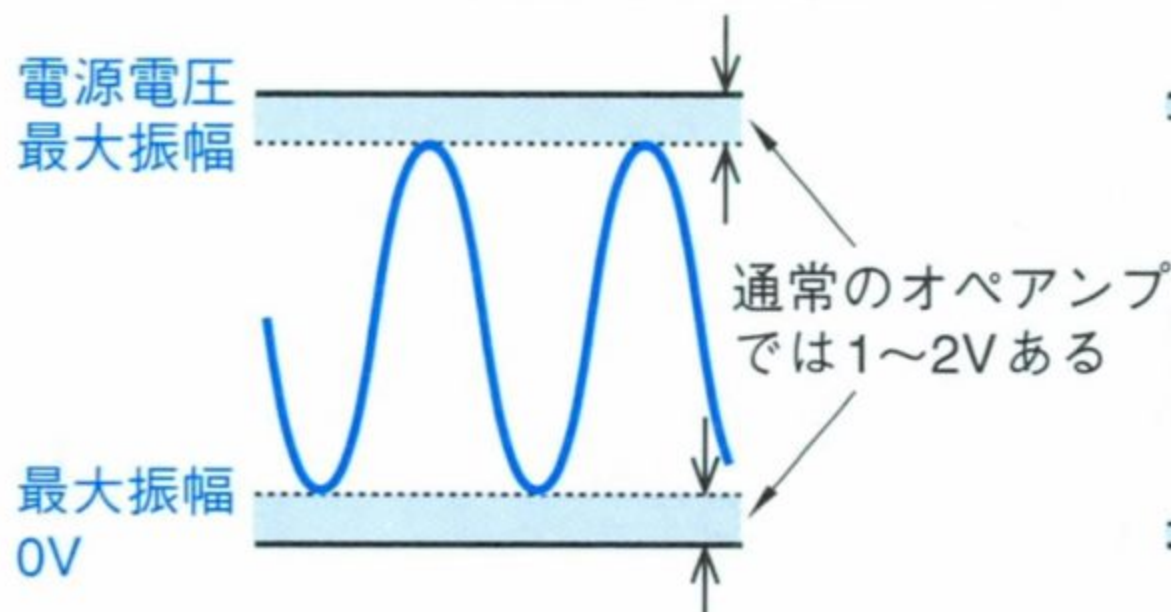
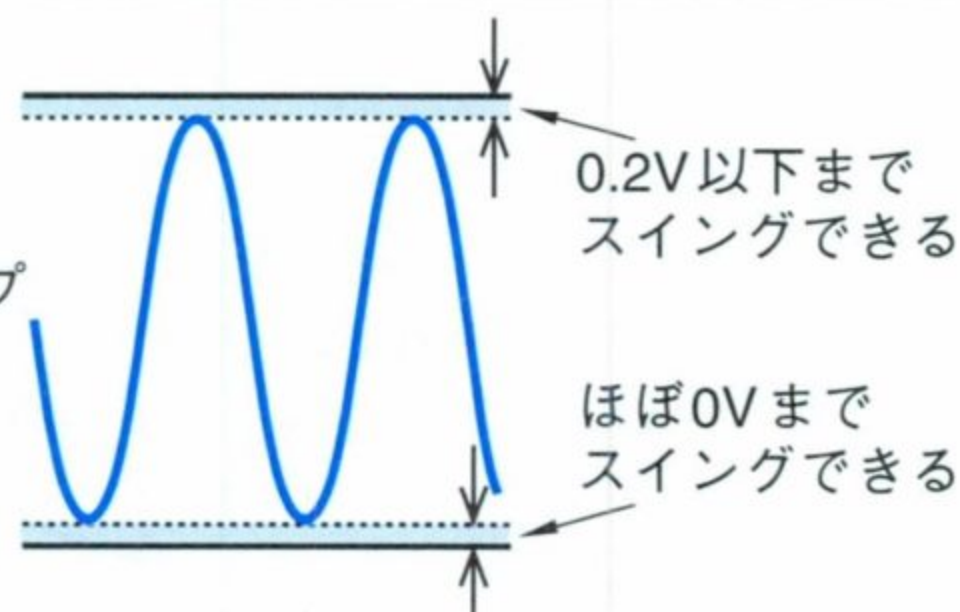
■単電源でオペアンプを使うときの注意

① 出力電圧の最大振幅

単電源で直流信号を増幅する場合の問題は出力信号の振幅の範囲です。つまり、図3.2.4のように、一般の汎用オペアンプの出力は電源電圧一杯までは出せず、電源電圧より1Vから2V程度低い電圧までしか出力できません。これでは単電源を使用するときは、電源電圧に5Vを使うことが多いため、有効な出力電圧範囲が狭くなってしまい困ることが多いので、図のような「Rail to Rail」と呼ばれる特別な工夫がなされたオペアンプが開発されています。

このRail to Railの可能なオペアンプを使えば、電源電圧よりわずかに低いところまで出力信号として出力することができます。実際の例でどの程度かというと、最新の「MCP6022」というICでは、電源が5Vのときの出力電圧範囲は0.015V～5.98Vとなっています。

アドバイス

Rail to Railの可能なオペアンプを使えば、電源電圧のほぼぎりぎりのところまで出力信号として出力することができます。

◆図3.2.4 オペアンプの最大出力振幅

常識
・計測用途での単電源のオペアンプ
①0V付近の電圧は無視できるような使い方に限定する。
②マイナス電源を加えて2電源方式にする。

② 測定用には0V付近は使えない

測定用途などで、単電源でオペアンプを使って増幅するときには、0V付近が問題になります。つまりRail to Railのオペアンプを使っても、入力が0Vでも出力は完全に0Vにはなりません。したがって、計測用に単電源のオペアンプで直流電圧を増幅して使う場合には、0V付近の電圧は無視できるような使い方に限定するか、マイナス電源を加えて2電源方式にする必要があります。

参照
・単電源方式の交流アンプ → p.166

③ 交流入力に使えない

交流にはマイナス側の電圧を含みますから、この図3.2.3の標準回路のままでは交流に使うことができません。単電源回路を交流アンプとして使うときには後述のような工夫が必要です。

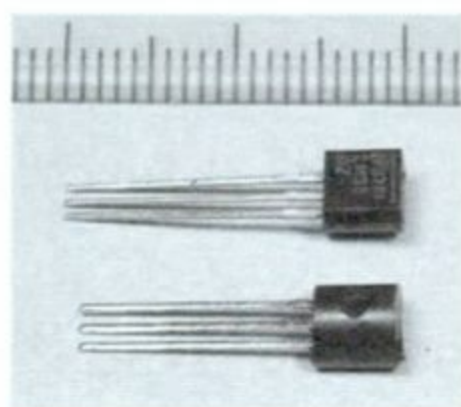
3-2-2 直流増幅回路の設計法

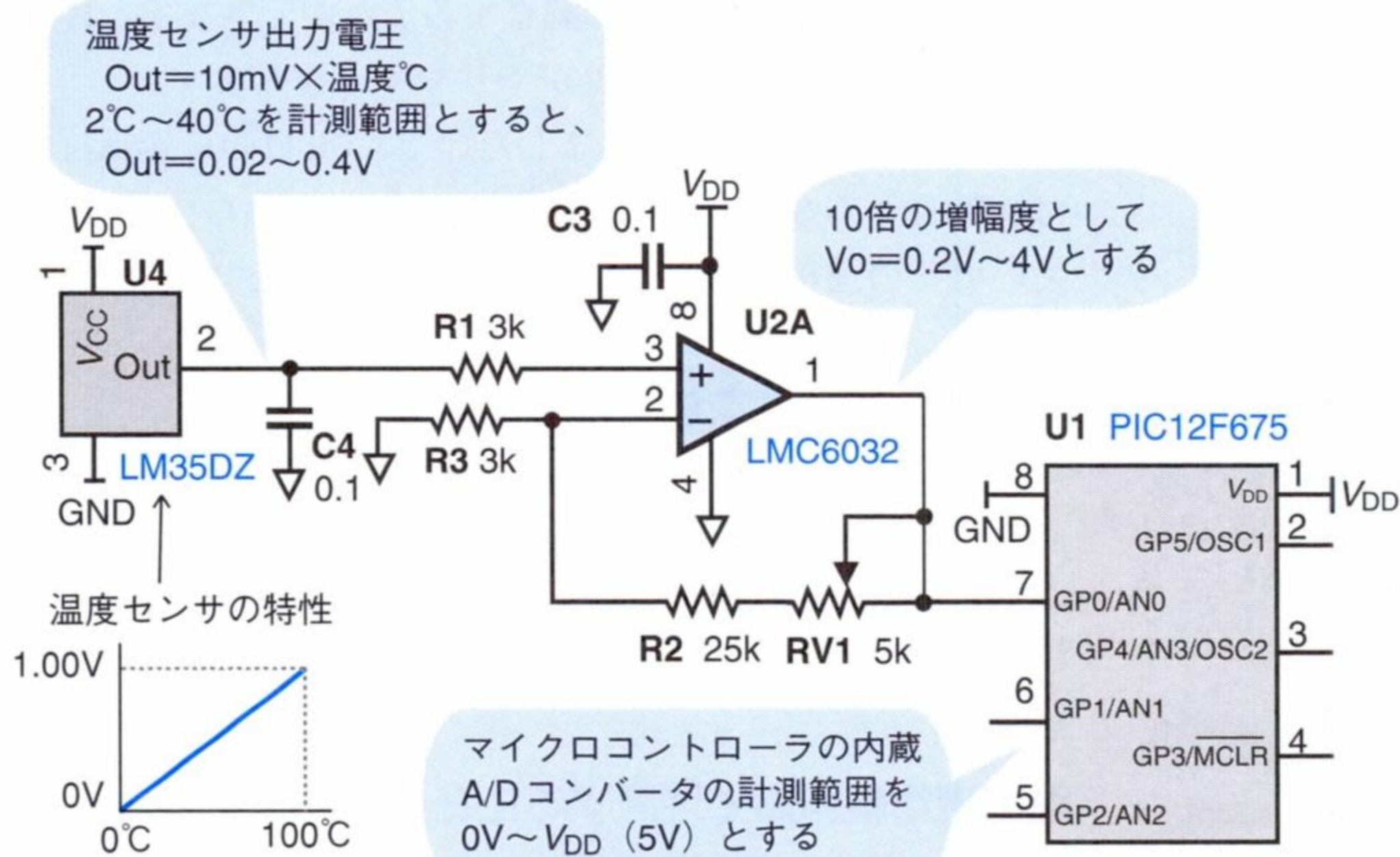
実際のオペアンプ回路の設計をしてみましょう。最初は数kHz以下でゆるやかに変動する直流信号入力用の単電源の増幅回路を設計します。

この回路は、温度センサなどの微小なアナログ電圧の信号を増幅し、マイコンなどに入力可能な電圧とするときに使います。実際に半導体温度センサをマイコンに接続するときの例で説明しましょう。

■回路構成を決める

参照
・温度センサ → p.114
・LM35DZ 温度センサ

温度センサの出力は温度に比例する正の電圧出力なので、アンプ出力を入力信号と同じ極性にするため非反転増幅回路を使って、正入力で正出力になるようにします。また、デジタル回路と電源が共用できるようにすれば、全体の回路が簡単化されますから、5V単電源用のオペアンプを使います。つまり図3.2.3の回路をベースにします。このようにして構成を決めた半導体温度センサ用増幅回路は、図3.2.5のようになります。

アドバイス

単電源の増幅回路です。アンプの出力を入力信号と同じ極性にするために非反転増幅回路を使っています。

◆図 3.2.5　半導体温度センサ用増幅回路

■必要なゲインを求める

参照

・Rail to Rail → p.161

オペアンプにはRail to Railタイプを使い、最高温度を40℃とすると40℃のときオペアンプの出力電圧が4.0Vとなるようにすれば、2℃のとき0.2Vとなります。これで温度が2℃から40℃をカバーしたとき、オペアンプの出力範囲を0.2V～4.0Vとできますので、オペアンプの振幅制限はすべてクリアしていることになります。

40℃のときのセンサの出力電圧が10mV × 40℃ =0.40Vとなりますから、オペアンプの増幅度は、4.0 ÷ 0.40で求められ、ぴったり10倍にすればよいことになります。

■R1、R3を決める

R1は単にバランスを取るためだけにありR3と同じ値とします。R1、R3の大きさは入力源となるセンサなどが要求する負荷抵抗で決めますが、大体数kΩが一般的な値となります。一般にオペアンプ自身の入力インピーダンスは、非常に大きな値（10^{12}Ω程度）ですから無視できます。

■R2、RV1を決める

ここでR3に3kΩを使うとすると、（R2 + RV1）の抵抗には、図3.2.3の増幅率の式からR3の9倍つまり27kΩが必要ということになります。ここでRV1に可変抵抗を使ったのは、抵抗値には誤差があり、3kΩといっても数%の誤差があるためです。つまりR2を固定抵抗と可変抵抗（ボリューム）の直列構成にして、R2 + RV1の抵抗値とすることにします。これで増幅率は

$$1 + (R2 + RV1) \div R3$$

となりますから可変抵抗を調整することで、R3やR2の抵抗値に多少の誤差があ

ってもぴったりの増幅度に調整することができます。RV1を小さめの値にすれば、調整範囲が狭くなり微調整がやりやすくなります。

例ではR2を25kΩとしましたので、5kΩの可変抵抗により（R2＋RV1）の値は25kΩから30kΩの範囲で可変できますから27kΩがちょうど中央付近となっていてその前後に約10%の調整ができることになります。

用語解説

・ローパスフィルタ
ある特定の周波数より低い周波数だけを通過するようにしたフィルタ。

■その他の定数を決める

C4のコンデンサは、温度センサ出力のノイズ吸収用で簡単なローパスフィルタの機能を果たします。0.01μFから0.1μF程度の値としておきます。C3のコンデンサはパスコンで、電源のノイズ吸収用です。通常0.1μFから数μF程度とします。

常識

電源回路の途中にパスコン（バイパスコンデンサ）を挿入すること。パスコンには高周波数の変動を吸収できるように、周波数特性のよいコンデンサを使うこと。
パスコン → p.25

■直流増幅回路で注意すること

直流増幅回路では、高精度のアナログデータを扱うときには注意が必要です。例のような温度入力の場合には、センサ自身の精度が±0.5℃程度とそれほど高精度ではないので、アナログ入力回路の精度をあまり高精度にする必要はありませんから、図3.2.5の回路で十分です。しかし、例えば温度センサに非常に高精度のものを使って、温度測定精度を±0.1℃以下、つまり「0.1℃÷40℃＝0.25%」以下にしようとすると、この数倍の0.1%以下の精度の増幅回路が必要となります。

高精度の入力回路を作る場合には、回路に使っているオペアンプや抵抗や可変抵抗などの素子そのものの変動誤差、特に温度変化が問題になります。例えば、一般的な炭素皮膜抵抗の温度係数は200ppm/℃以上あり、40℃の範囲で使うとすると、8000ppm（0.08%）以上もずれることになります。このような場合には、特別に温度変化の少ない抵抗素子を選択したり、可変抵抗の温度変化を抑制する回路の工夫をしなければなりません。

また、オペアンプ自身の特性も影響があり、「**オフセットドリフト**」と呼ばれる入力基準点の変動が小さいものを選択する必要があります。

アドバイス

高精度が要求される場合は、回路に使っているオペアンプ、抵抗、可変抵抗などの素子そのものの変動誤差、特に温度変化に注意し、素子を選択してください。

用語解説

・オフセットドリフト
オペアンプのオフセット電圧が、温度や電源電圧により変動すること。

3-2-3 交流増幅回路の設計法

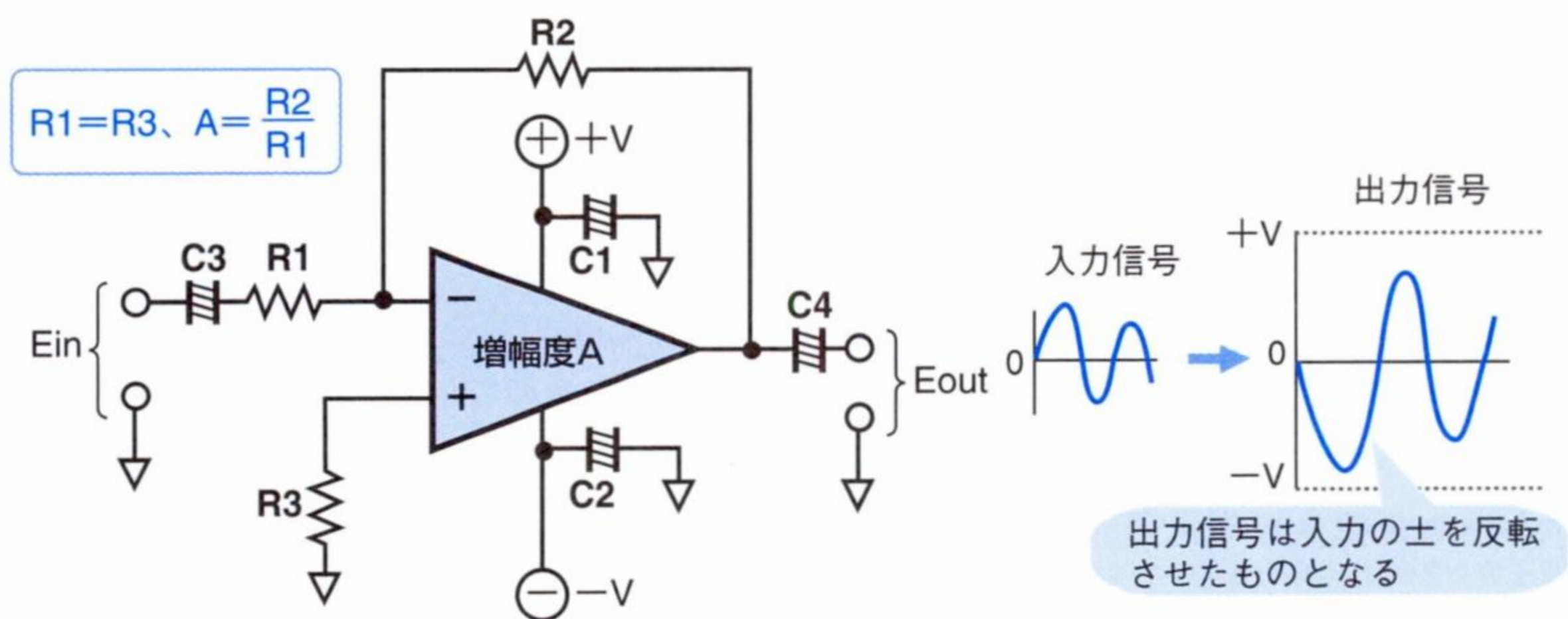
参照
・2電源方式の基本回路 → p.161

用語解説
・カップリングコンデンサ
直流電圧を前段と無関係（直流分をカット）にして、交流だけを通過させるために用いるコンデンサ。

オペアンプを使って音声や音楽、振動など、ある周波数範囲の交流信号を入力したい場合があります。このような場合は一般的に数mVというような低レベル信号なので、十分に増幅しないとマイコンなどに入力できるレベルになりません。

このような場合もやはりオペアンプを使って増幅しますが、交流だけ増幅すればよいので、前項のような直流用のオペアンプ回路とはちょっと異なり、交流アンプとします。

■2電源方式の交流アンプ

2電源方式の交流アンプの基本回路は図3.2.6のようになります。見たところ2電源方式の直流アンプにC3とC4のコンデンサが追加されただけです。つまり信号に含まれる直流分をC3とC4でカットして交流だけが通過するようにしたことになります。このコンデンサは前段、後段と接続するためのものなので**カップリングコンデンサ**と呼んでいます。

◆図3.2.6 交流増幅回路の標準回路

各定数の決め方もC3とC4以外は直流の場合とまったく同じ考え方でできます。しかし抵抗値については、負荷を軽くするため直流の場合より大きめの数10kΩとします。

・カップリングコンデンサC3の値の求め方

C3の入力カップリングコンデンサは、通過させる最低周波数fcと入力のインピーダンスRinから

fc ＞ 1÷（2π×Rin×C2）

となるように決めて目的の周波数が減衰しないで通過するようにします。ここでオペアンプ回路の入力インピーダンスRinは、R1とR2の並列抵抗となります。

参照
・合成抵抗値の求め方 → p.38

例えば、fc = 20Hz、R1 = 5kΩ、R2 = 45kΩとすると

Rin = 45kと5kの並列 = 4.5k

Cin ＞ 1÷（6.3×4.5kΩ×20Hz）＝約2μF → 4.7μFを使う

となります。

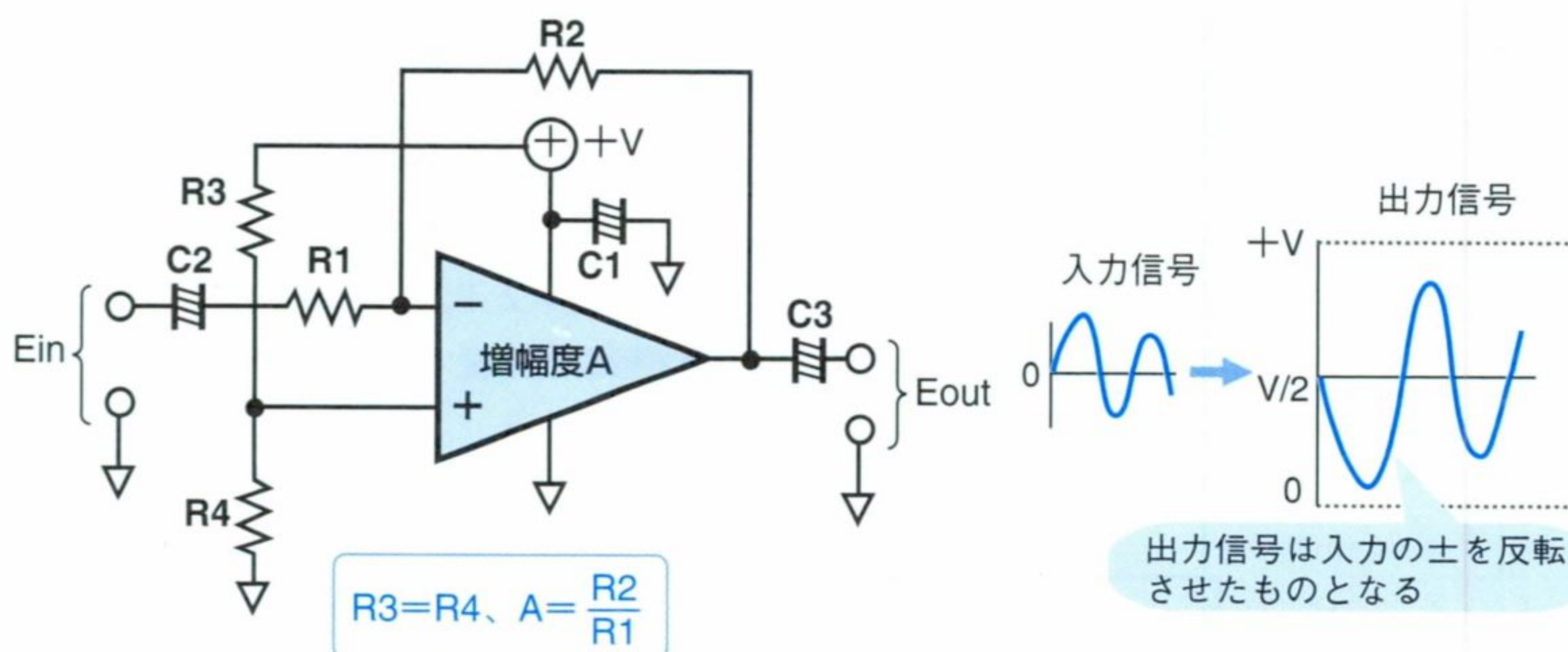
C4の値は次に接続される回路の入力インピーダンスを基にして同じように求めます。

■単電源方式の交流アンプ

用語解説

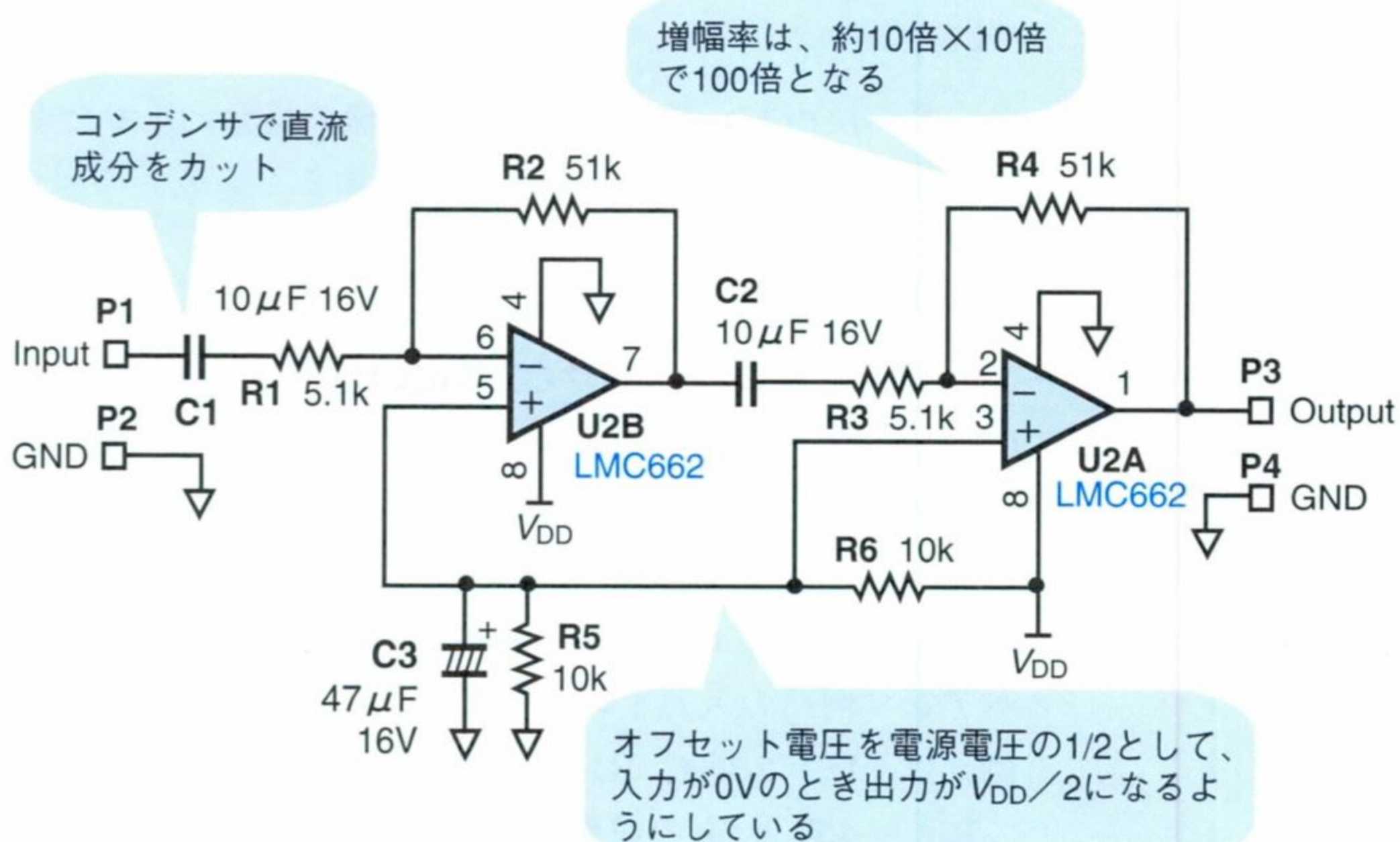
・**オフセット電圧**
入力が0Vのとき出力される電圧。

単電源方式の交流アンプの標準回路は図3.2.7のようになります。この回路はこれまでの回路とちょっと異なっています。オペアンプの＋入力には電源電圧をR3とR4で分圧したオフセット電圧が加えられています。R3=R4とすれば電源電圧の1/2の電圧が加わります。こうすると入力が0Vのとき出力が電源電圧の1/2となり、この電圧を中心にして交流信号が両側に振れることになります。

そのほかの定数の決め方は2電源方式の場合と同じです。

◆図3.2.7　単電源の交流アンプ

教えて

どうしてR5とR6で分圧するのですか？
〔回答〕
入力が0Vのとき出力が電源電圧の1/2となります。この電圧を中心にして交流信号が両側に振れるようにするためです。

図3.2.8は実際の交流アンプの例で、音楽信号を増幅するための回路例です。この例は単電源の標準回路を2段構成にしたもので、1段あたりのゲインは、51k÷5.1k=10倍で、これが2段ですから100倍の増幅度となります。R5とR6で分圧していますから電源の1/2のオフセット電圧となっています。C3のコンデンサは、オフセット電圧のノイズを低減させる働きをしています。

◆図3.2.8　実際の交流アンプの例

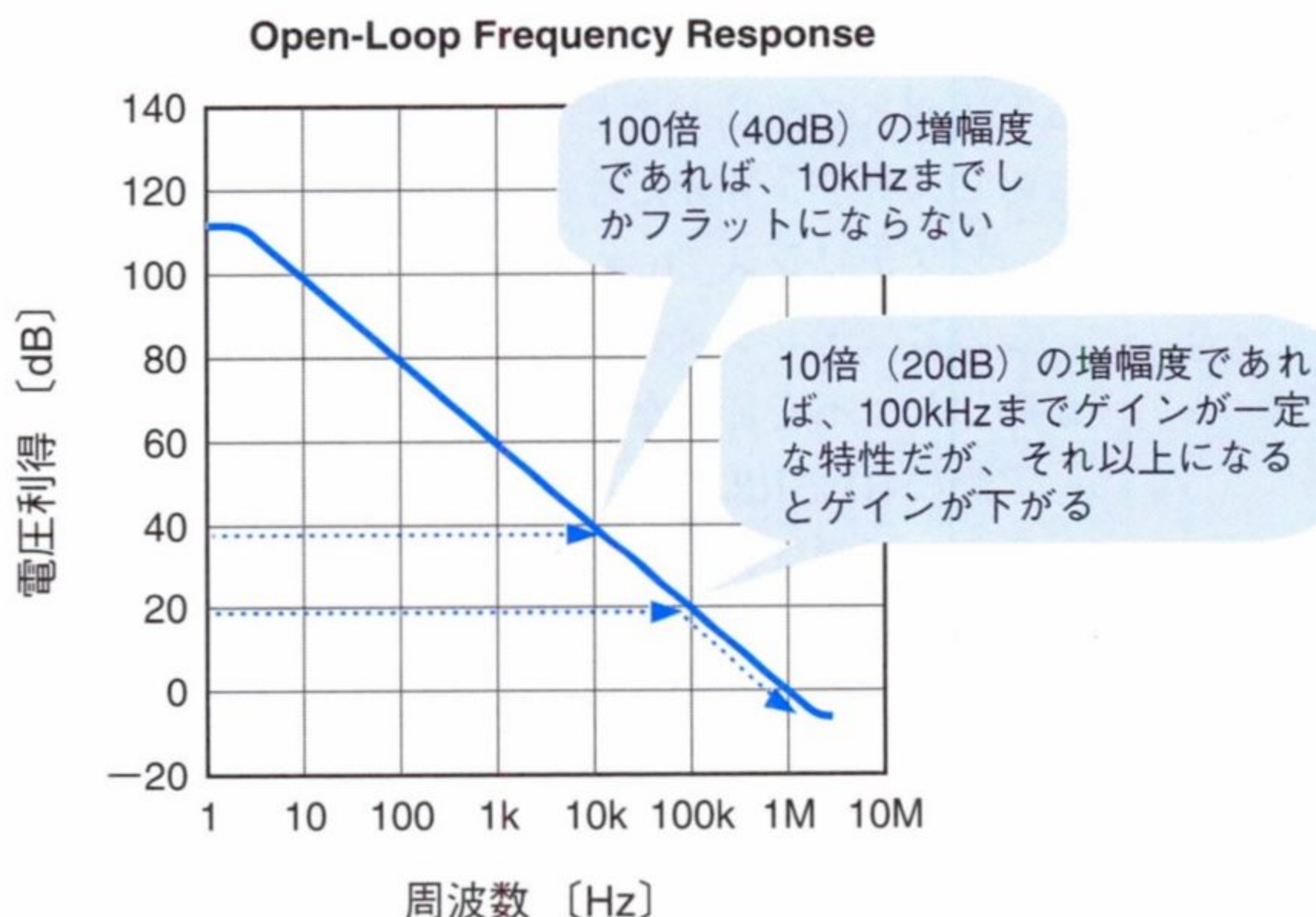
■交流増幅回路で注意すること

① 周波数特性

交流アンプで注意しなければならないことは、アンプに周波数特性があることです。この周波数特性の設計には、規格表の中にある周波数特性表を使います。例えばLMC662の周波数特性は図3.2.9のようになっており、図に示したように、アンプを10倍（20dB）のゲインで使うと、周波数は100kHzまでは一定ですが、それ以上の周波数になると急激にゲインが下がることがわかります。

鉄則

ゲインバンド幅積が大きくて周波数特性のよいオペアンプを使い、1段当たりの増幅度をあまり大きくしないようにする。

ゲインが1倍（0dB）のときの周波数を**ゲインバンド幅積**（GB積）といいオペアンプの重要な特性となっています。広帯域で周波数特性のよいアンプを作るには、このゲインバンド幅積が大きくて周波数特性のよいオペアンプを使い、1段当たりの増幅度をあまり大きくしないようにする必要があります。これに対し低い周波数はカップリングコンデンサと入力インピーダンスにより制限されます。

◆**図3.2.9 オペアンプ回路の周波数特性**

② ノイズの問題

用語解説

・**ゲイン**
増幅度

鉄則

①入力までの配線はシールド線を利用する。
②アナログ回路のパターンはデジタル回路から遠ざける。
③グランドパターンもデジタル回路とは完全に分離するようにし、電源供給元の1ヶ所だけで接続する。

交流アンプは特にゲインが大きい場合が多く、いろいろなノイズの影響を受けます。入力までの配線はシールド線が必要です。

マイクロコントローラなどのデジタル回路と共存させるような回路構成とするときには特に注意が必要です。このような場合必ず問題になるのは、デジタル回路で発生するスイッチングノイズがアナログ回路に影響を与えるということです。

つまりデジタル回路は、常時0VとV_{DD}電圧の間を行き来しています。一般的にデジタル回路では、この切り替わる瞬間に非常に短時間の比較的大きな電流が回路上を流れグランドに集まってきます。このパルス状の電流がデジタル回路パターンを流れるとき、基板上で平行に並んでいるアナログ配線パターンやアナログのグランド配線に影響を与えます。これが**スイッチングノイズ**です。したがってアナログ回路のパターンはデジタル回路から遠ざけ、さらにグランドパターンもデジタル回路とは完全に分離するようにして電源供給元の1ヶ所だけで接続します。

3-2-4　コンパレータ回路

用語解説

・コンパレータ回路
比較回路。微小なセンサの信号電圧を検出し、大きさを判定し、デジタル回路にHigh/Lowで伝達するために利用することができる。

微小なセンサなどの電圧を検出して、デジタル回路へのセンサ入力とするような場合で、センサ信号の電圧の大きさを判定して、デジタル回路にHigh/Lowで伝達するときには、オペアンプの仲間である**コンパレータ**というアナログICを使います。

内部はオペアンプの原理と同じで、非常に大きな増幅度であり、差動入力のほんのわずかの差を検出することが可能です。

しかし、実用的にはあまり感度がよすぎても使いにくいので、適当な感度にするためのテクニックがあります。それが**ポジティブフィードバック（正帰還）**と呼ばれる方法です。

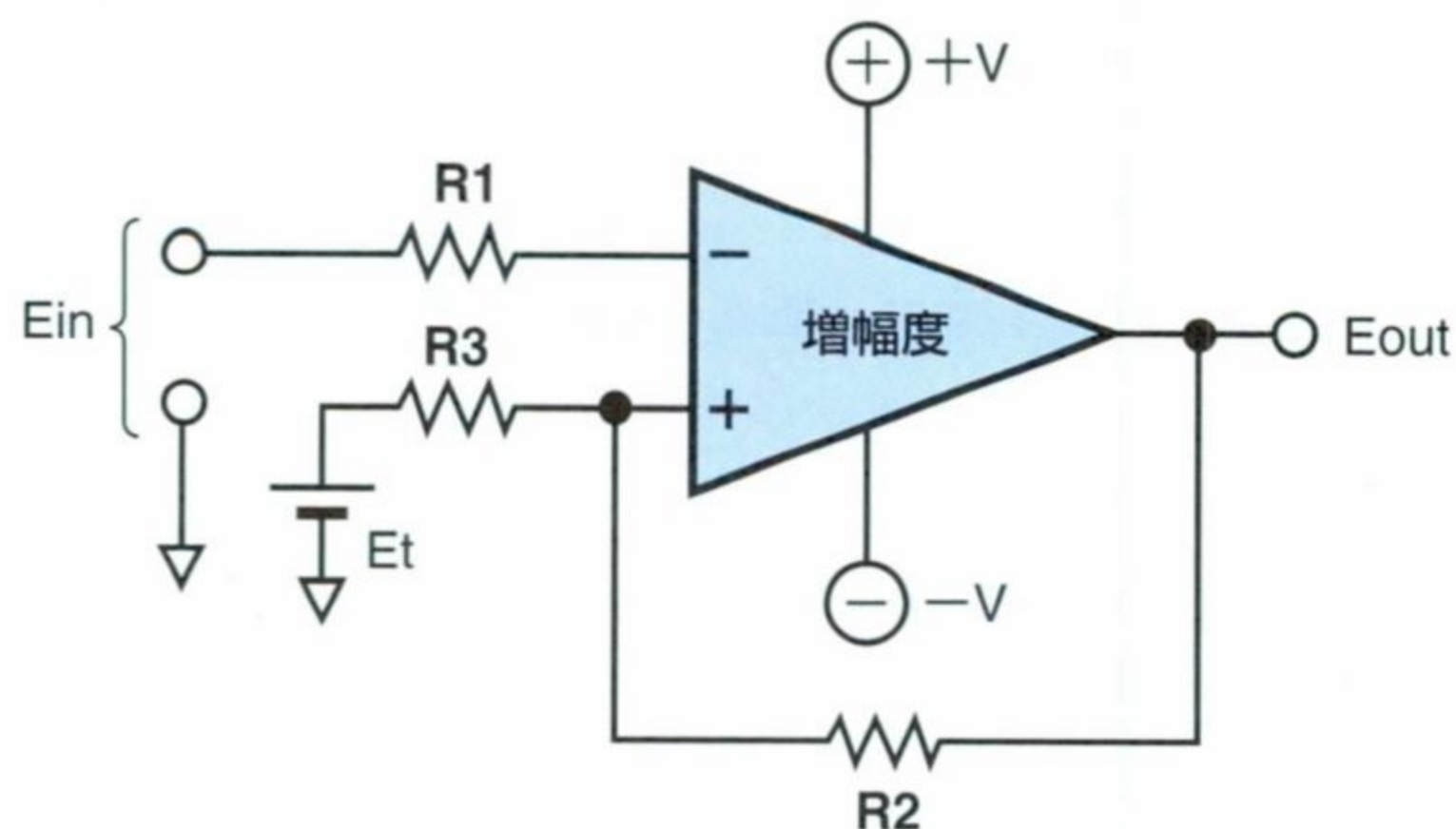
用語解説

・シュミット回路／ヒステリシス回路
オン／オフのスレッショルドに幅を持たせ、確実にスレッショルドを越えないとオン／オフを判定しないようにした回路。

ポジティブフィードバック回路は、**シュミット回路**とか、**ヒステリシス回路**とも呼ばれています。基本的な回路構成は図3.2.10のようにし、基準電圧Etが比較の基準になります。この回路では、出力電圧をR2とR3で分圧した下式で表される電圧がヒステリシスとなり、出力を反転させるためには、入力は基準電圧よりこのヒステリシス分だけ余分な電圧が必要です。

ヒステリシス Eh＝（Eout－Et）×R3／（R2＋R3）

このヒステリシスがあることで、ノイズなどのわずかの電圧差でコンパレータが動作して不安定になるのを防ぐことができます。

実際のR1、R2、R3の値の決め方は、R1とR3はバランスをとるため同じ値とします。通常は数kΩを使います。あとはヒステリシスをどの程度にするかでR2を決めますが、普通はヒステリシスは数10mV以下とします。

(1) Eoutが＋から－になるとき

$$Ein > Et + (Eout - Et) \times \frac{R3}{(R2+R3)}$$

(2) Eoutが－から＋になるとき

$$Ein < Et - (Eout + Et) \times \frac{R3}{(R2+R3)}$$

◆図3.2.10　コンパレータのヒステリシス

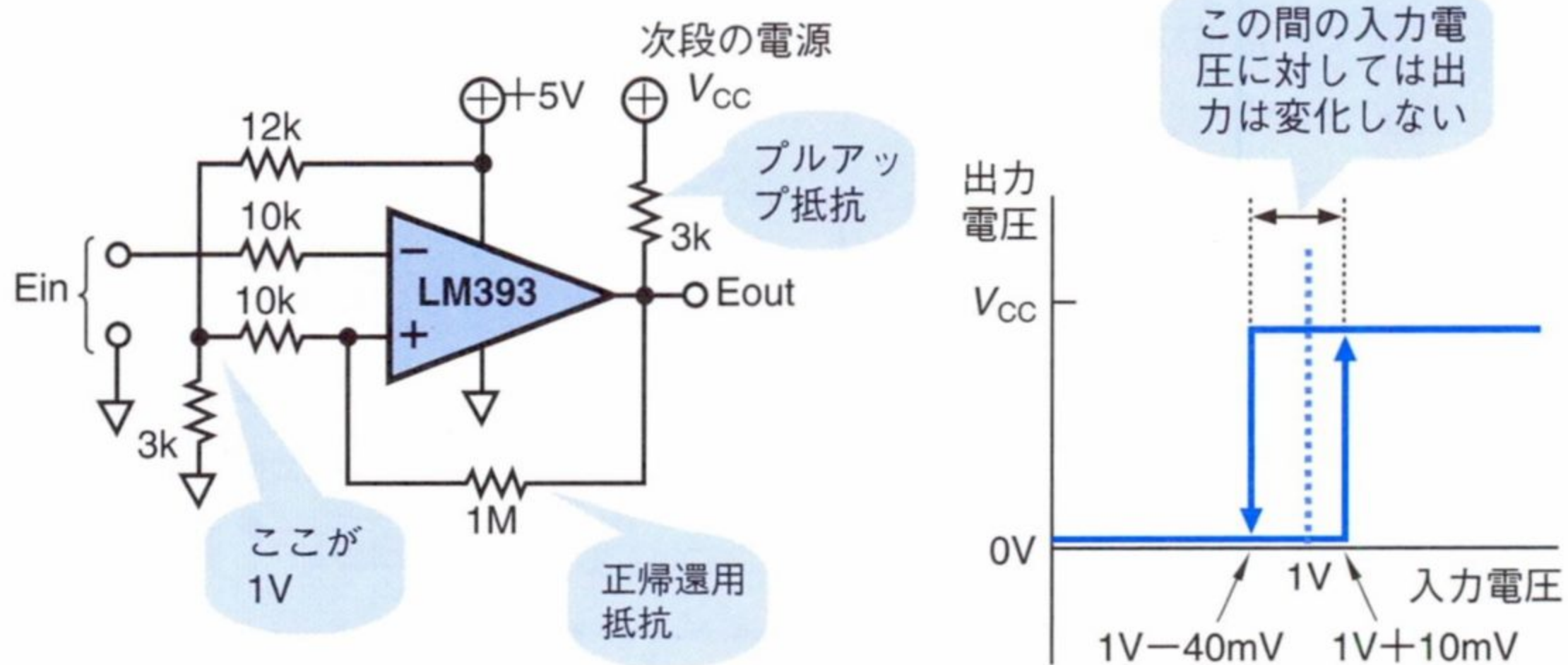
■コンパレータ回路例

実例として、5V単電源で入力電圧が1Vを基準にした、コンパレータ回路を考えてみます。使うコンパレータICはモトローラ社の「LM393」です。このICの出力はオープンコレクタとなっていて、出力のプルアップ抵抗が必要になりますが、コンパレータの次段がオペアンプと異なる電圧を使っていても、問題なく次

段の電圧に合わせることができるので便利です。

実用回路は図3.2.11のようになります。まず基準となる1Vは、電源電圧を抵抗で分圧してつくることとします。12kΩと3kΩの抵抗で5Vを分圧して基準の1Vとしています。

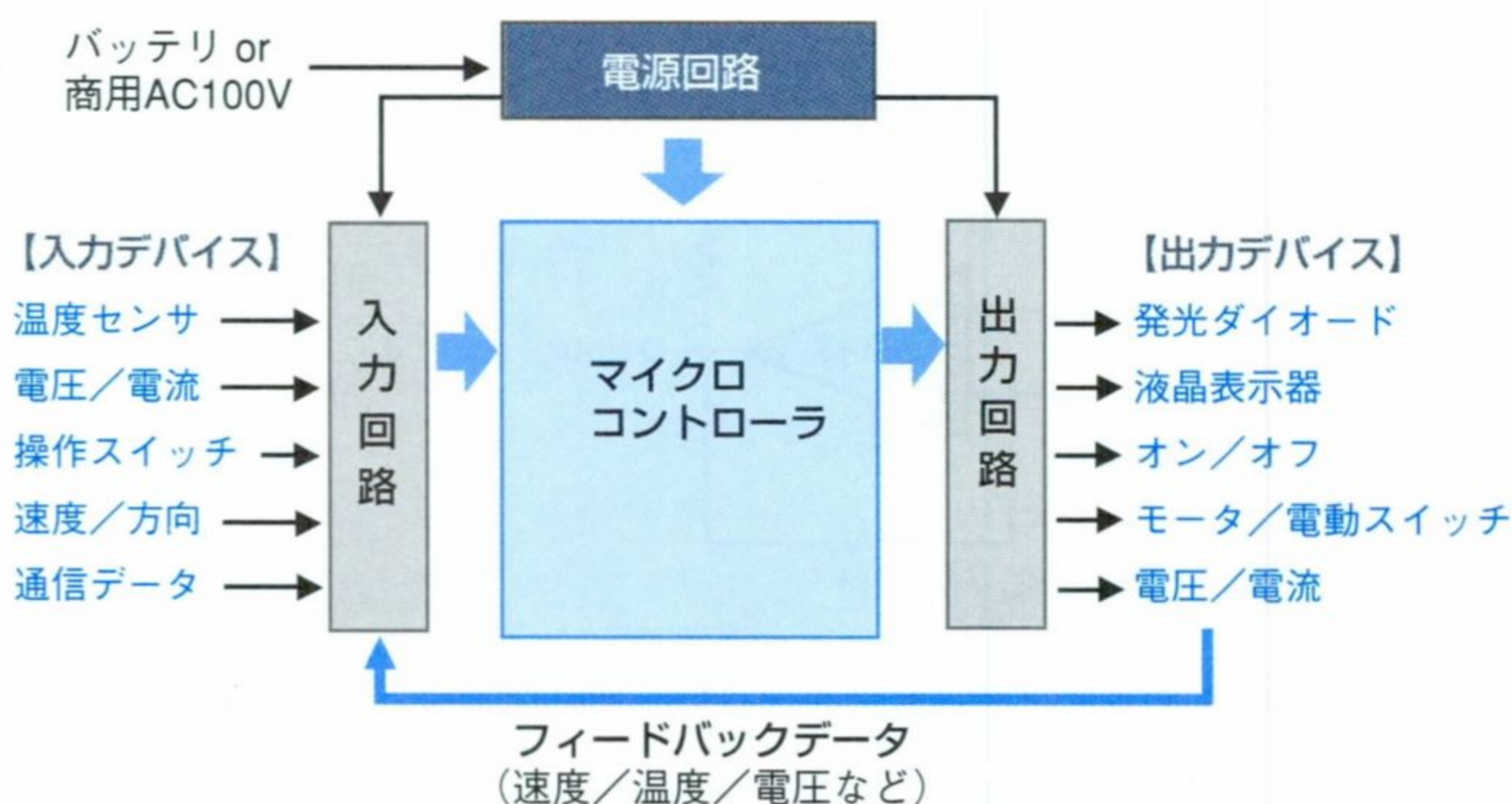
ここでヒステリシスは、出力電圧が5Vのときに、数10mV程度になるように10kΩと1MΩで1/100としています。結果として、出力が1→0になるときは約40mV、0→1になるときは約10mVのヒステリシスとなります。

ヒステリシスの大きさを変えたいときは、1MΩと10kΩの比を変えればよいということになります。10kΩを大きくすればヒステリシスが大きくなり、小さくすれば小さくなります。出力の3kΩの抵抗はプルアップ抵抗で、この抵抗を接続先の電源に接続すれば、レベル変換もしたことになります。

◆図3.2.11　実用コンパレータ回路

3-3 デジタル回路の設計法

私たちが電子工作としてデジタル回路を設計するために必要な設計の基本について説明します。単なる基礎知識ではなく、実際にマイコン周辺機器としてのデジタル回路を作るときの設計法を中心に説明しますので、いわゆるブール代数などの基本の基本は他の参考書を参照してください。

マイコンを中心としたシステムの構成を大雑把に捉えると、図3.3.1のような構成となります。

バッテリ or
商用AC100V
電源回路
【入力デバイス】
温度センサ
電圧／電流
操作スイッチ
速度／方向
通信データ
入力回路
マイクロ
コントローラ
出力回路
【出力デバイス】
発光ダイオード
液晶表示器
オン／オフ
モータ／電動スイッチ
電圧／電流
フィードバックデータ
（速度／温度／電圧など）

◆図3.3.1　マイコンシステムの基本構成

■入力回路

中心にマイコンがあり、入力デバイスとして各種のセンサや、スイッチなどの操作部、さらにはフィードバック制御をするための出力状態をモニタする信号などが接続されます。

このシステムへの入力信号は、それぞれ異なった電圧レベルであったり、単なる機械的なスイッチであったりしますから、マイコンの入力条件に合うように変換が必要になります。この変換部分が**入力回路**ということになります。

用語解説

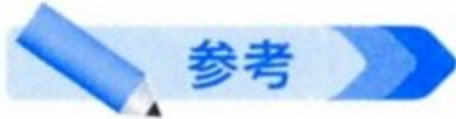
・フィードバック制御
出力値を監視して、目標値に近づけるよう制御する方法。負荷や入力の変動があったときにもできるだけ早く目標値に戻るように制御する。

■出力回路

入力に従ってマイコンのソフトウェアで処理された結果を出力デバイスに出力します。出力デバイスとしては、発光ダイオードや液晶表示器のような表示デバイスであったり、モータや電動スイッチのような駆動装置（アクチュエータ）であったりいろいろなものがあります。ここでもマイコンの出力からこれらの出力デバイスを駆動するための信号への変換が必要となります。これが**出力回路**ということになります。

1
2
3
4
5

■電源回路

さらに、マイコン自身や、入力、出力回路を動かすためのエネルギー源となる**電源回路**が必要となります。デバイスによっていろいろな電圧や電流容量が必要です。入力源も商用のAC 100Vであったりバッテリであったりと異なりますから、電源もそれらに対応できるものとする必要があります。

参考
電源回路については次章で説明します。

この入力回路、出力回路、電源回路の3つの回路要素がマイコンシステムの基本回路要素ということになります。なお、入力回路のアナログ関連は前章で説明しましたので、本章ではデジタルの入出力回路の設計方法について説明していきます。

3-3-1 デジタル入力回路

マイコンへのデジタル入力信号の扱い方について説明します。このデジタル入力としては、表3.3.1に示すような多種のものがあります。

◆表3.3.1　マイコンへのデジタル入力デバイス

種類		機能・特徴	例
操作入力	操作スイッチ	オン／オフ状態で押されたことを区別	プッシュボタンスイッチ DIPスイッチ 各種切替スイッチ
	接点回路	オン／オフで1、0を表すデジタル回路を構成する	リレー、プランジャ
	回転操作	回すとオン／オフが連続して入力される	ロータリーエンコーダ
センサ入力	オン／オフセンサ	オンかオフの2値による状態	バイメタルスイッチ（温度）、傾きセンサ、接触センサ（マイクロスイッチ）
	デジタルセンサ	測定量をデジタル情報として出力する シリアルデータ、パルス、パルス幅などで入力される	加速度センサ、流量センサ、 風向・風速センサ

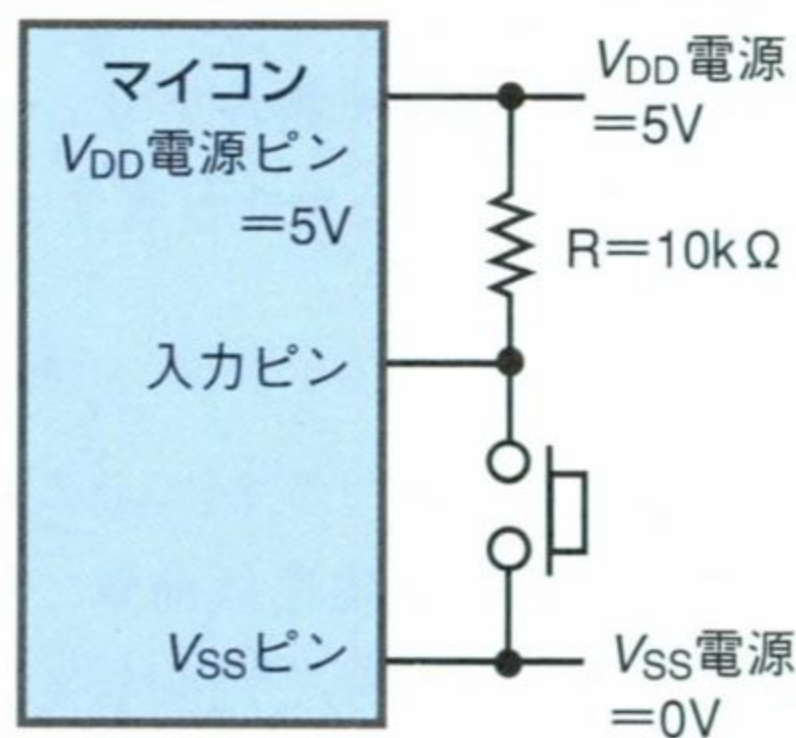
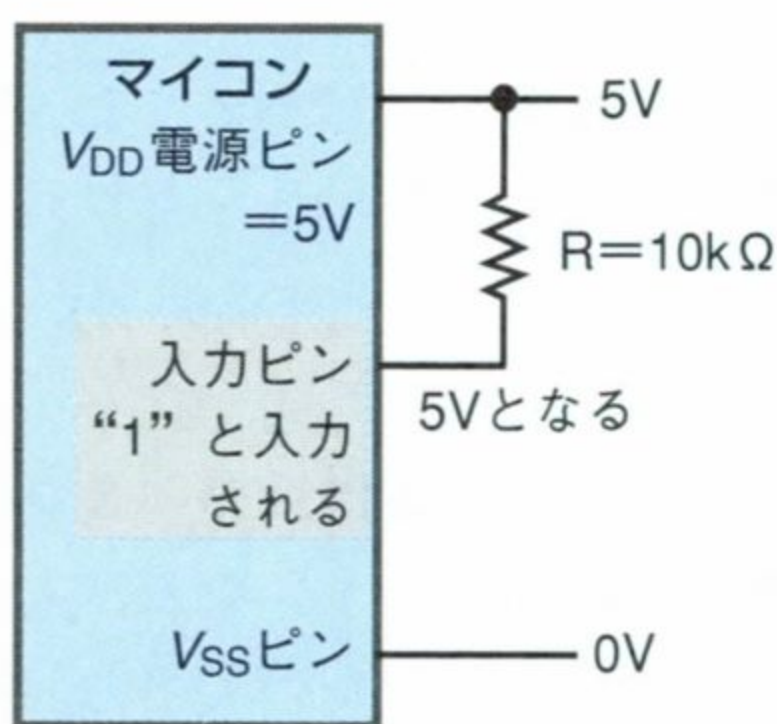
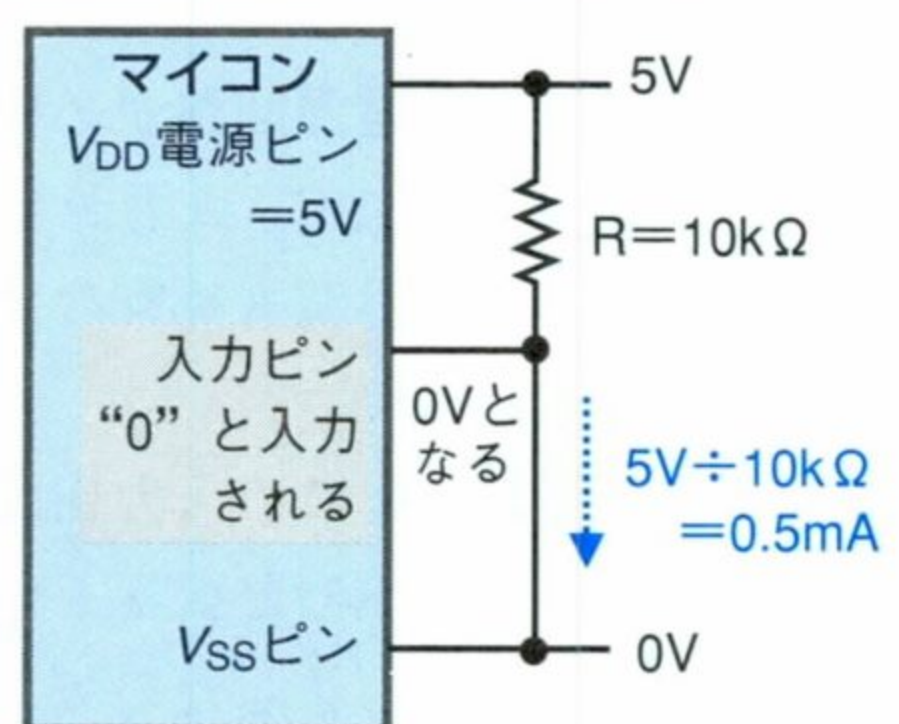
■スイッチ、リレー接点の入力

スイッチには単なる押しボタンスイッチから、ロータリスイッチなど、数多くの種類がありますが、いずれも単に2つの金属片が接触するかしないかという機械的なもので、マイコンへの接続は図3.3.2(a)のようにします。

◆図3.3.2 基本的なスイッチ接続回路

これで、スイッチがオフのとき(図3.3.1(b))には、抵抗Rを経由して電源電圧V_{DD}がマイコンに入力されますから、これで論理"1"として認識されます。

スイッチを押すと(図3.3.1(c))のようにスイッチの金属片により、マイコンの入力端子を電気的に0Vに接続してしまいますから、マイコンへの入力は0Vということになり論理"0"と認識されます。これでスイッチがオフのときは"1"、オンのときは"0"として区別が付くことになります。

抵抗Rは**プルアップ抵抗**とも呼ばれ、「電源電圧をマイコンのピンに加える」ことと、「スイッチを押したときにスイッチの金属接点が過電流で傷まないように金属片間に流れる電流値を制限する」役割を持っています。これで、スイッチには「電源電圧÷R」の抵抗値で決まる電流が流れます。またスイッチ接点は金属なので表面が酸化しますから、適当な電流を流すことでこの酸化膜を破壊して正常に電流が流れるようにする働きもあります。

参考

プルアップ抵抗は「電源電圧をマイコンのピンに加える」ことと、「金属片間に流れる電流値を制限する」役割をしています。

■ノイズやチャタリングへの対策

この基本回路でもボード内のスイッチでしたら、問題なく接続できます。しかし、スイッチが外部にあって配線にノイズがのりやすい状況では、場合によるとノイズで"1"を"0"と認識してしまうことがあるかもしれません。

また、スイッチにはもうひとつ避けて通れない問題があります。それは**チャタリング**とか**バウンス**と呼ばれる現象です。スイッチは機械的なばねでできていますので、図3.3.3(a)のように、スイッチを押したとき金属片間はすぐ安定に接触するわけでなく、非常に短時間ですが何回か弾んでから安定になります。つまり、短時間のオン/オフを繰り返すことになります。マイコンから見るとこの時間間隔は結構長いため、スイッチのオンとオフの処理を短時間に何回も繰り返すことになってしまいます。これでは不安定な動作となってしまいますから、スイッチを押したとき、できれば安定に0Vになるようにしたいものです。

このようなノイズやチャタリングを避ける実用的なスイッチ接続回路は、図3.3.3(b)のようになります。ここでは抵抗R3とコンデンサC1でローパスフィルタを構成していて、スイッチを押したときはコンデンサがスイッチ経由で高速に放電しますので入力ピンの電圧はすぐ0Vになります。逆にスイッチがオフになったときは、R3経由でコンデンサに充電するためちょっと時間がかかります。これにより、

用語解説

・チャタリング
リレーやスイッチの接点が閉じた直後に、ON/OFFを繰り返す現象。回路の誤動作を招いたり、接点の寿命を縮める原因にもなる。

アドバイス

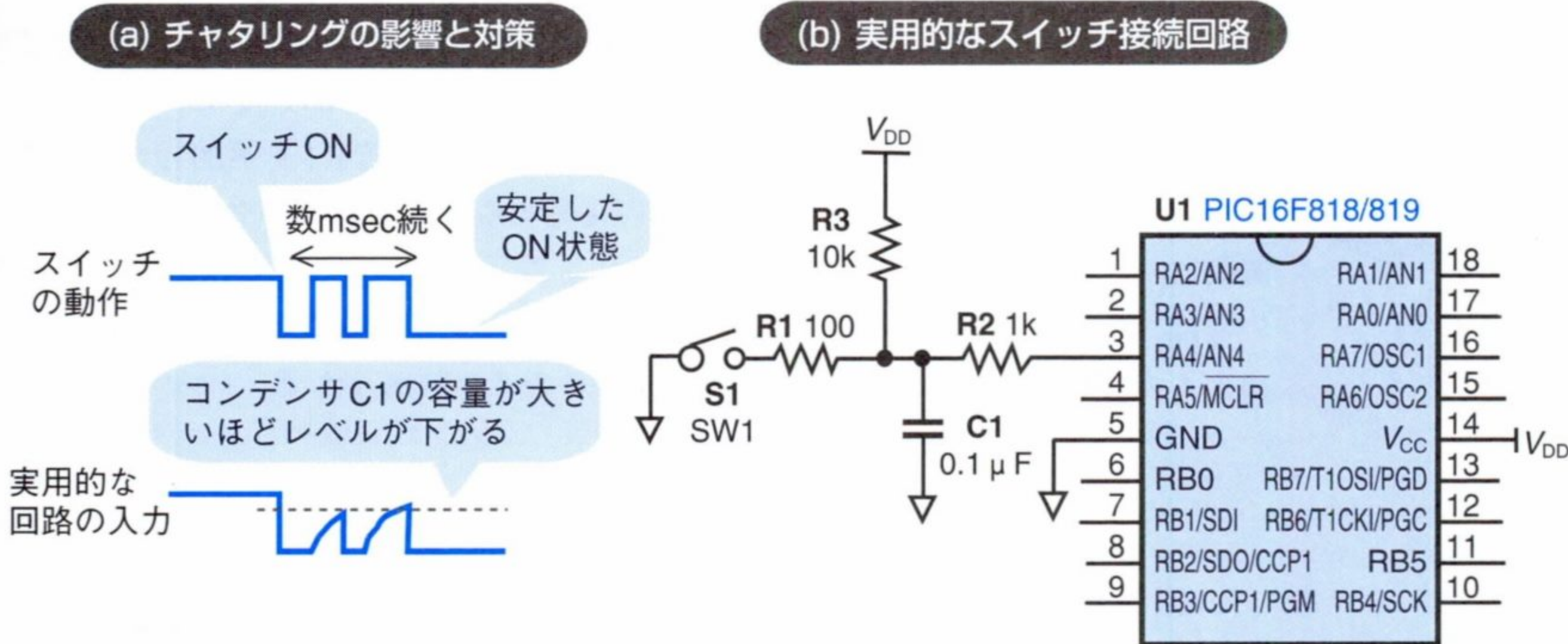
このような回路を付加してもチャタリングが残る場合は、プログラムで回避するようにします。方法は、チャタリング時間より長い一定間隔でスイッチの入力をチェックするようにするか、いったんオンを検知したらちょっと待ってからオンを確認して処理を行うようにします。

短時間のオフでは入力電圧が“1”と認識されるまで上昇せず、“0”のままで留まることになります。これで、チャタリングを吸収して安定した0V付近の電圧として入力することができます。**コンデンサC1の容量値が大きいほど充電時間がかかりますから、効果が大きくなる**ことになります。

抵抗R1の役割は、スイッチをオンにしたときコンデンサから放電する電流があまり大きくならないように制限する働きをします。そうしないと接点で火花が出て接点が劣化してしまうことになります。

抵抗R2はマイコン側が大容量コンデンサで過負荷になるのを軽減する働きをします。

(a) チャタリングの影響と対策

(b) 実用的なスイッチ接続回路

◆図3.3.3　スイッチのチャタリングと実用回路

■デジタルパルス入力

アドバイス

デジタルパルスをマイコンにそのまま接続する場合、信号の電圧レベルとパルスの周波数あるいはパルス幅に注意してください。

センサには、加速度センサや流量計、積算電力計などデジタルパルス信号で出力するものがあります。このようなデジタルパルスの場合には、マイコンにそのまま接続できることが多いのですが、この場合に注意しなければならないことは、**信号の電圧レベルとパルスの周波数あるいはパルス幅**です。

・センサの電圧レベルに注意

用語解説

・スレッショルド電圧

論理“0”または“1”と認識するしきい値をスレッショルドと呼ぶ。

まず電圧レベルですが、マイコンは、データシートに必ず入力電圧レベルの規格が記述されています。表3.3.2がその例で**スレッショルド電圧**と呼ばれています。この表によれば電源電圧が5Vのときは、2.05V以上を“1”とし、0.75V以下を“0”とします。この間の電圧の場合には不定となりますから不安定な状態となります。

◆表3.3.2　入力スレッショルド規格の例

区分	状態	電圧範囲	条件
入力ピン	1	（0.25 V_{DD}＋0.8）～ V_{DD}	V_{DD}は電源電圧（2.0V～5.5V）
	0	V_{SS}～0.15 V_{DD}	V_{SS}はグランドで0V

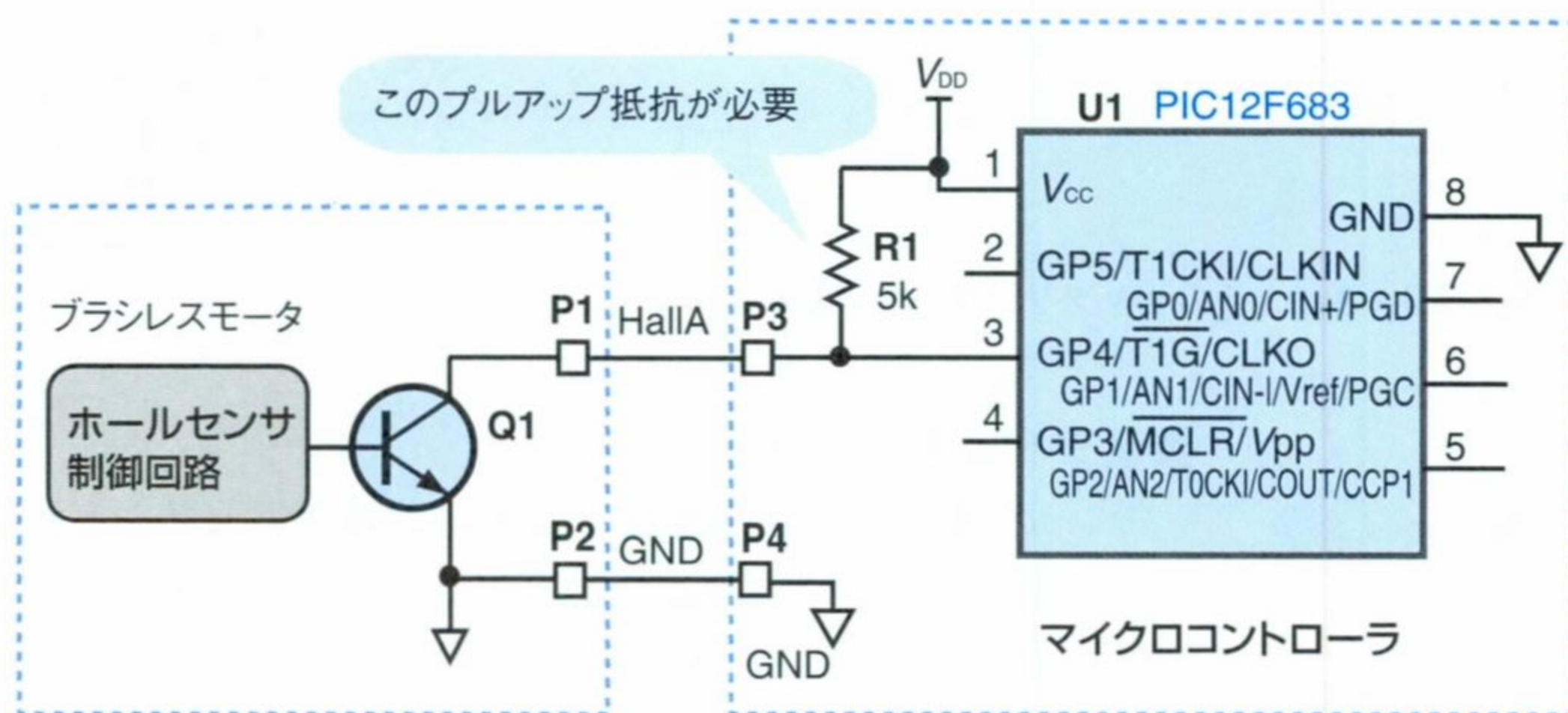
この表のように、マイコン側の電源電圧により可能な入力電圧範囲が制限されますから、センサ側から出力される電圧レベルが決まっている場合は注意が必要になります。

この電圧規格は実は前項のスイッチの場合にも適用されますが、スイッチの場合には電圧が0VとV_{DD}となりますから問題なくこの規格をクリアできます。

用語解説
・オープンコレクタ
出力回路が、トランジスタのコレクタが直接出ていて他に何も接続されていない構成のものをオープンコレクタと呼ぶ。外部にプルアップ抵抗が必要。

常識
オープンコレクタ回路をパルス入力としてマイコンに接続するときは、プルアップ抵抗を追加する。

・オープンコレクタ回路はレベル変換に便利

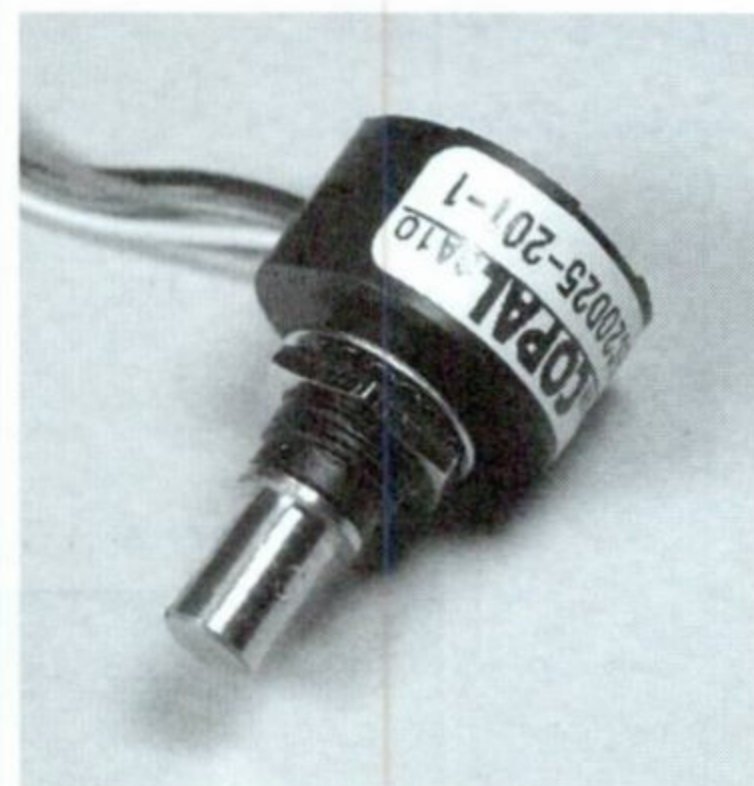
スレッショルド電圧の他に、センサ側の出力回路にも注意が必要で、**オープンコレクタ出力**と呼ばれる回路になっている場合には、マイコンの入力回路にプルアップ抵抗が必要になります。例えば、ブラシレスモータの回転位置を示すホールセンサ回路の出力は、図3.3.4のようなトランジスタのコレクタが直接出力されているオープンコレクタという構成になっているものが大部分です。これをパルス入力としてマイコンに接続するときは、図のように抵抗R1を追加します。この抵抗の片端をマイコン側の電源（V_{DD}）に接続することで、モータ側の電圧には無関係にマイコン側の入力電圧仕様に合わせることができるようになります。抵抗の値は、出力側のトランジスタQ1がオンになったときに流れる電流を制限するためのものですので、センサ側の仕様に合わせる必要があります。

◆図3.3.4 オープンコレクタ出力の接続

■パルスの周期やパルス幅に注意

用語解説
・ロータリエンコーダ
インクリメンタル方式とアブソリュート方式がある。また、接触式と非接触式がある（接触式では磨耗による劣化が問題になる）。

ロータリエンコーダや積算電力計などのパルスで出力される信号を受けるパルス入力の場合には、電圧レベル以外にもうひとつ注意しなければならないことがあります。それは「パルスの周期またはパルス幅」です。周期が数100kHz以上の高速だったり、パルス幅が数μsec以下のような場合には、回路も高速対応にする必要がありますし、当然マイコン側も高速で処理できるものが必要になります。割り込みなどを使って高速に応答ができるようなプログラムとする必要があります。

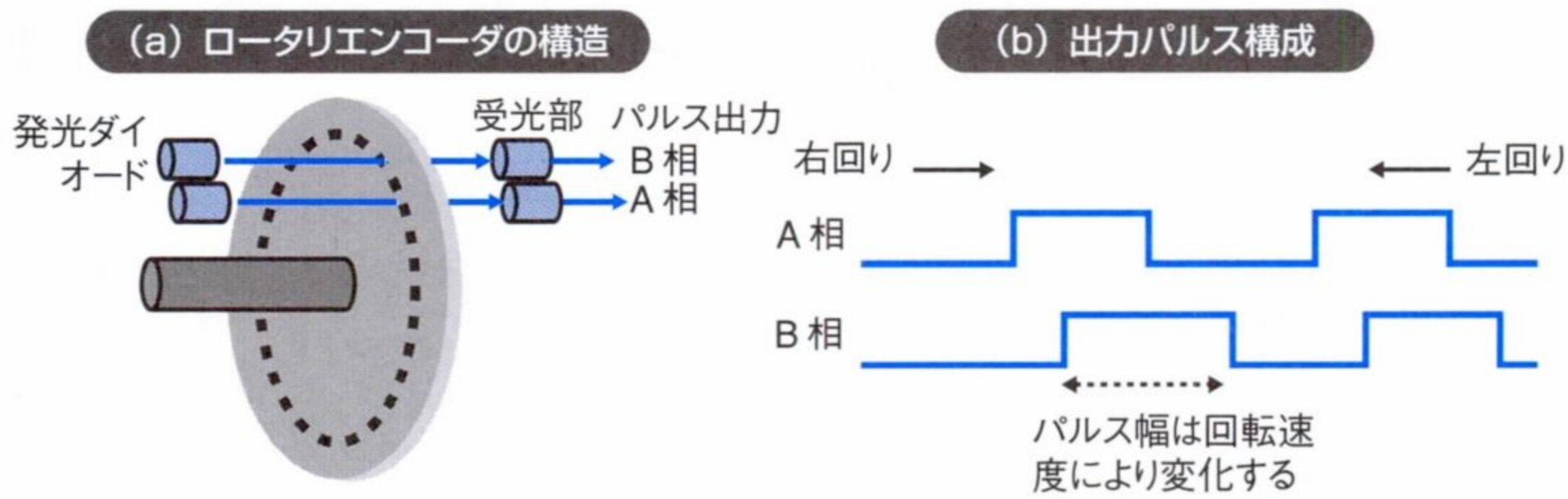
◆写真3.3.1 ロータリエンコーダの外観

ロータリエンコーダは写真3.3.1のような外観で

すが、内部は図3.3.5(a)のように2個のフォトカプラの位置をずらして並べていて、この2個の出力は図3.3.5(b)のように回転方向により2つのパルスの位相差が出るようになっています。このパルス幅は回転操作の早さにより変化しますから、最小パルス幅を意識して最小のときでもパルス抜けがないように処理する必要があります。

(a) ロータリエンコーダの構造

発光ダイオード
受光部
パルス出力
B相
A相

(b) 出力パルス構成

右回り
左回り
A相
B相
パルス幅は回転速度により変化する

◆図3.3.5 ロータリエンコーダの構造と出力パルス

3-3-2 デジタル出力回路

マイコンの出力には、制御対象となる多くのデバイスが接続されます。アプリケーションによってそのデバイスも多くの種類がありますが、デジタル信号で制御するデバイスを大別すると表3.3.3のようになります。

◆表3.3.3 出力デバイスの種類

種類		機能・特徴	例
表示デバイス	オン／オフ表示	点灯、消灯で表現 色による表示	発光ダイオード ランプ、フルカラー表示
	メッセージ表示	文字表示、グラフ表示	液晶表示器、モニタ 文字表示発光ダイオード
動力デバイス	オン／オフ制御	開閉制御	リレー、プランジャ
	回転、移動制御	回転動力 位置制御	各種モータ
パルス出力	パルス幅、周波数	位置制御、音 PWM制御	RCサーボ、スピーカ

参考

マイコンの出力ピンが出力できるのは、直流電圧のオン／オフデジタル出力か、パルス出力の2種類です。

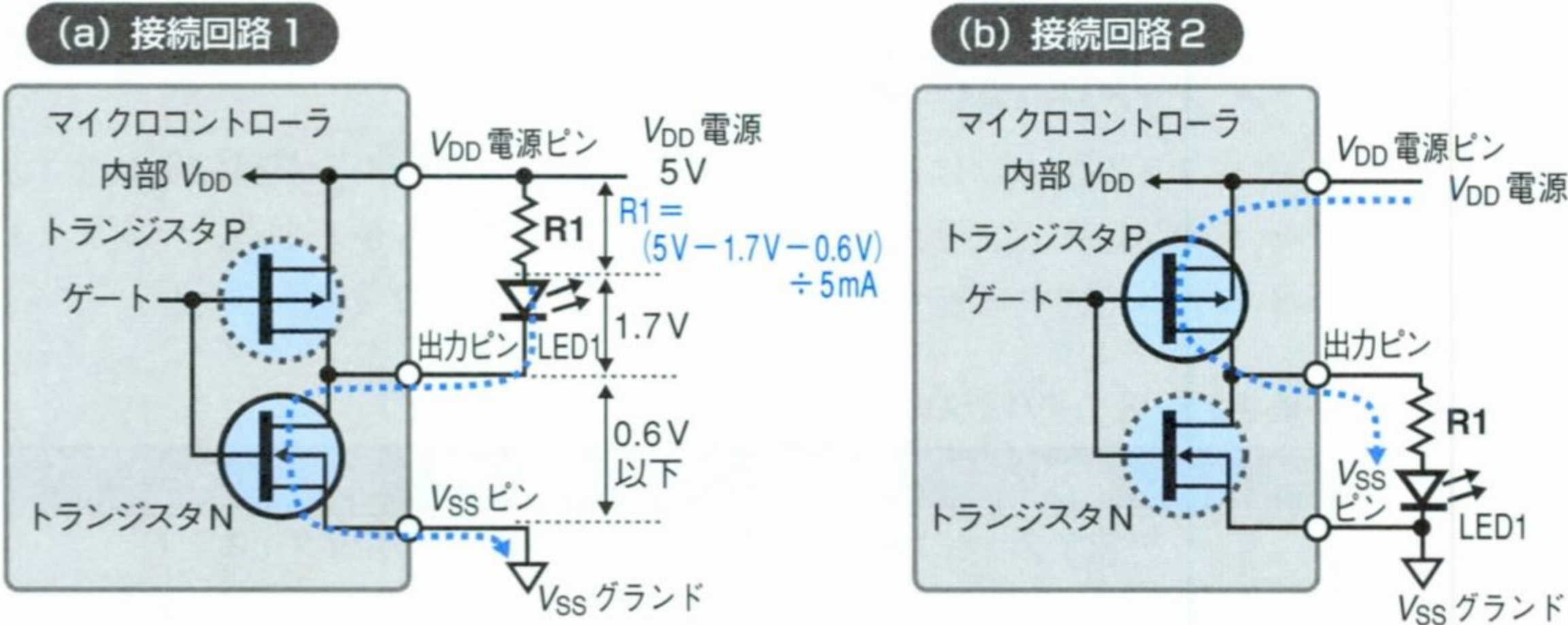
これらの出力デバイスに対し、マイコンの出力ピンが出力できる情報は表3.3.4に示すように直流電圧のオン／オフデジタル出力か、パルス幅の2種類しかありません。したがって表3.3.3の出力デバイスをマイコンが制御できるようにするためには、**高電圧、高電流のオン／オフ信号に変換したり、信号レベルを合わせたりするための回路が必要**になります。

◆表3.3.4　マイコンの出力

種別	機能	信号レベル 他
デジタル出力	オン／オフ情報を電圧信号として出力する	0V付近と電源電圧（V_{DD}）付近の電圧をデジタル論理0、1で区別する 電流容量は数mAから数10mA
	パルス出力	固定のパルスの場合と、PWM出力の場合がある

■直接オン／オフを出力する回路

単純なオン／オフ出力デバイスでよく使われるものに、発光ダイオードの表示器があります。プログラムの状態や出力のモニタとして使われます。発光ダイオードのように低電圧で、わずかな電流でよい場合には、マイコンに直接接続して制御できます。この発光ダイオードの接続回路は通常図3.3.6のようになっています。

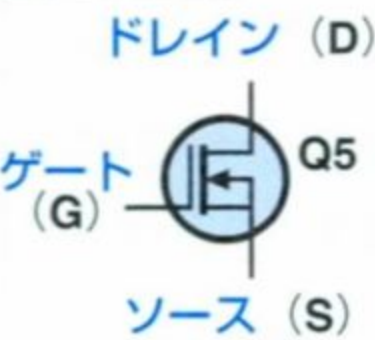
(a) 接続回路1　　(b) 接続回路2

◆図3.3.6　発光ダイオードの接続回路と動作

用語解説

・V_{DD}
電源電圧

・V_{SS}
グランド電圧

参考

MOSFET N
ドレイン（D）
ゲート（G）　Q5
ソース（S）

MOSFET P
ドレイン（D）
ゲート（G）　Q6
ソース（S）

最近のマイコンの出力ピンは、FETトランジスタの出力となっています。これを簡単な構成図で表すと図3.3.6のように2個のトランジスタの組み合わせとなっています。このトランジスタは一般的に数mA以上の出力能力を持っていますので、発光ダイオードの点灯用には十分です。

この出力ピンのトランジスタの動作は、内部で論理“0”という出力をするとトランジスタのゲート電圧が高くなるようになっていてトランジスタPがオフ、トランジスタNがオンとなり、ピンの出力電圧がほぼV_{SS}となります。これによってピンからマイコン内部のトランジスタNに電流が流れ込み、V_{SS}グランドに出てきます。

逆に内部で論理“1”という出力をすると、トランジスタのゲートがほぼ0Vとなりますので、トランジスタPがオン、トランジスタNはオフとなり出力ピンにはV_{DD}から入った電流がピンから流れ出す方向となります。

・**発光ダイオードの接続方法には2通りある**

出力ピンがこのような構成ですから、発光ダイオードの接続方法には、図3.3.6

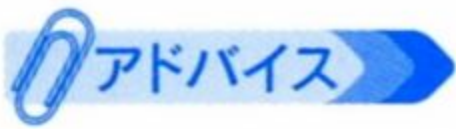
1 2 3 4 5

のような2通りの回路があります。

図3.3.6(a)の場合には、出力ピンに論理“0”を出力すると、発光ダイオードを通った電流がPIC内部のトランジスタNを経由してグランドV_{SS}に流れ込みますから、発光ダイオードが点灯します。逆に論理“1”を出力すると出力ピンがほぼV_{DD}になりますから、発光ダイオードを通過する電流は流せなくなり消灯します。

図3.3.6(b)の接続とした場合には、論理“1”を出力したときにトランジスタP経由でV_{DD}から発光ダイオードに電流が流れて点灯状態となります。論理“0”を出力したときには、ピンはV_{SS}電圧となりますから発光ダイオードへ電流は流れないことになり消灯します。

点灯／消灯と“1、0”の論理が逆になることに気をつける必要がありますが、このどちらの方法で接続しても問題ありません。

・適切な電流を流すための抵抗値の計算

アドバイス
図3.3.6(a)の抵抗R1の値を求めます。

次に、マイコンから直接発光ダイオードを制御する場合、発光ダイオードに流れる電流を制限するため直列に抵抗を挿入します。この抵抗値の求め方を説明しましょう。接続時の電圧関係は図3.3.6(a)のようになります。

まず、発光ダイオードに電流が流れて点灯するとき、発光ダイオード自身で約1.7V程度の電圧降下が発生します。また、マイコンの出力ピンの規格は、たとえば表3.3.5のようになっていて、Low出力のとき約0.6Vの電圧出力となります。

◆表3.3.5　マイコンの出力規格例

区分	状態	電圧範囲	条件
出力ピン	1	(V_{DD}－0.7V) 以上	V_{DD}は電源電圧 (2.0V～5.5V)
	0	0.6V 以下	Max 25mAまで

これで、電源電圧V_{DD}が5Vのとき、発光ダイオードに5mAの電流を流すには、下記の式で抵抗値が求められることになります。

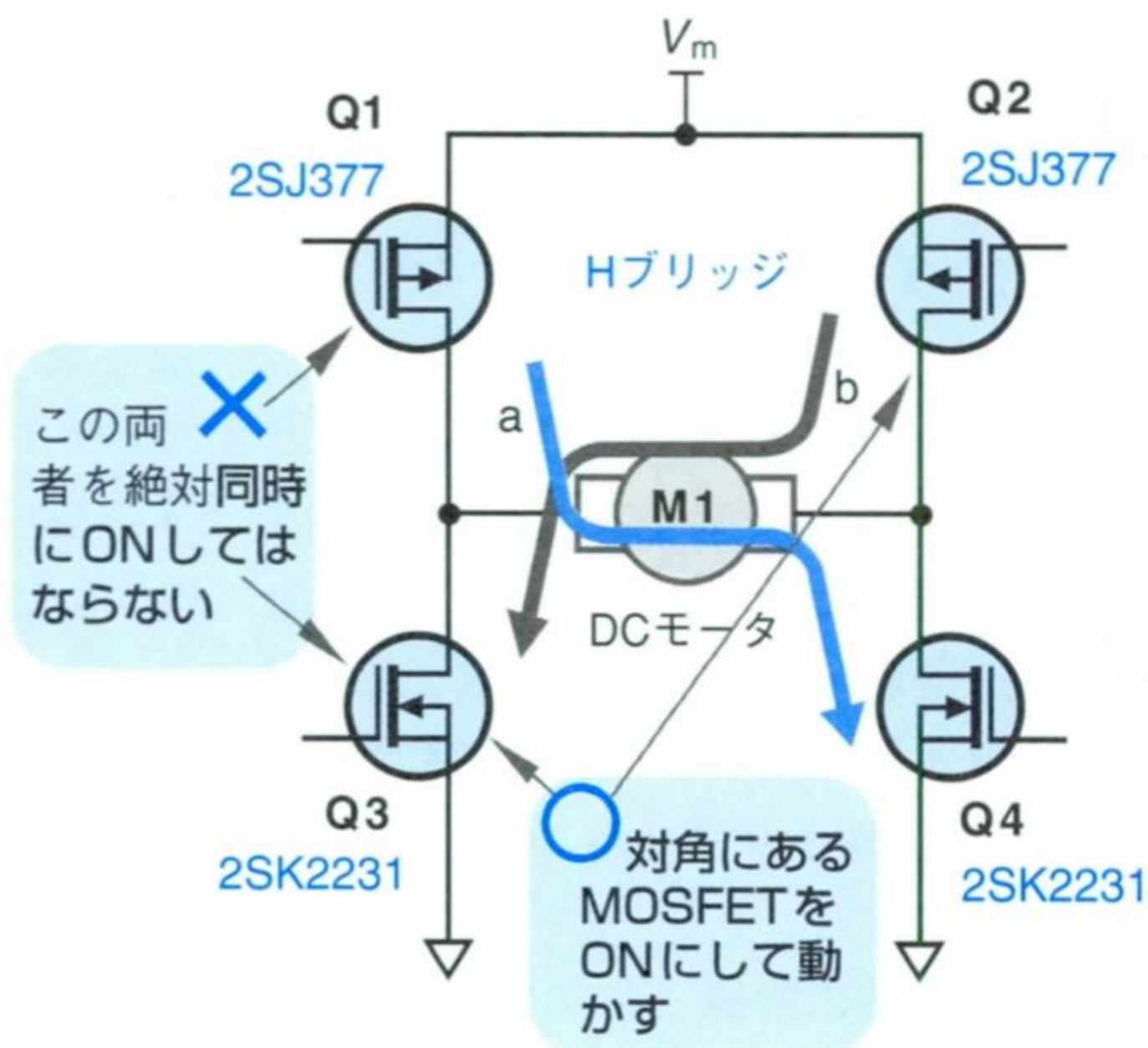
$$R1 = (5V - 1.7V - 0.6V) \div 5mA = 540\,\Omega$$

これから540Ω前後の抵抗でよいことがわかりました（標準値の560Ωの抵抗を使ってもかまいません）。

■モータ駆動回路（PWM制御）

参照
・モータ制御ドライバIC → p.87

参考
モータ制御ドライバICをマイコンと接続して複雑な制御が行えます。

小型の直流モータの制御には、**Hブリッジ回路**とか**フルブリッジ回路**とか呼ばれている回路がよく使われます。単一の電源でモータの正転と逆転、さらに可変速制御ができる回路として考案されたものです。基本構成は図3.3.7のようになっており、H型をしていることからこう呼ばれています。

Hブリッジ回路の動作モード

Q1	Q2	Q3	Q4	モータ制御
OFF	OFF	OFF	OFF	停止
ON	OFF	OFF	ON	正転（逆転）
OFF	ON	ON	OFF	逆転（正転）
OFF	OFF	ON	ON	ブレーキ

Hブリッジ回路のPWM制御モード

Q1	Q2	Q3	Q4	モータ制御
OFF	OFF	OFF	OFF	停止
ON	OFF	OFF	PWM	正転（逆転）
OFF	ON	PWM	OFF	逆転（正転）
OFF	OFF	ON	ON	ブレーキ

◆図3.3.7　Hブリッジ回路

Hブリッジの基本動作は、図の上側の表のように、Q1とQ4のトランジスタだけを同時にオンとすると、モータへの電流はaのように左から右に流れ、モータは正転（逆転）します。次にQ2とQ3だけをオンとすれば、bのように右から左に電流が流れ、モータは逆転（正転）することになります。さらにQ3とQ4だけを同時にオンとするとモータのコイルをショートすることになりブレーキをかける動作となります。

・Hブリッジ使用上の注意

注意
Q1とQ3、あるいはQ2とQ4を同時にオンにしてはいけません。

注意することは、Q1とQ3、あるいはQ2とQ4を同時にオンにしてはいけないということです。トランジスタで電源をショートすることになってしまい、大電流がトランジスタに流れるため、トランジスタが壊れてしまうことがあります。したがって、回転方向を切り替えるときには、短時間でよいので、一旦全部オフの停止状態にしてから切り替えるようにします。

・PWMによる可変速制御

DCモータでは加える電流を変えれば速度を変えることができます。マイコンなどによるデジタル制御で簡単に速度制御を行うために考え出された方式が**パルス幅変調制御**あるいはPWM（Pulse Width Modulation）と呼ばれる方式です。

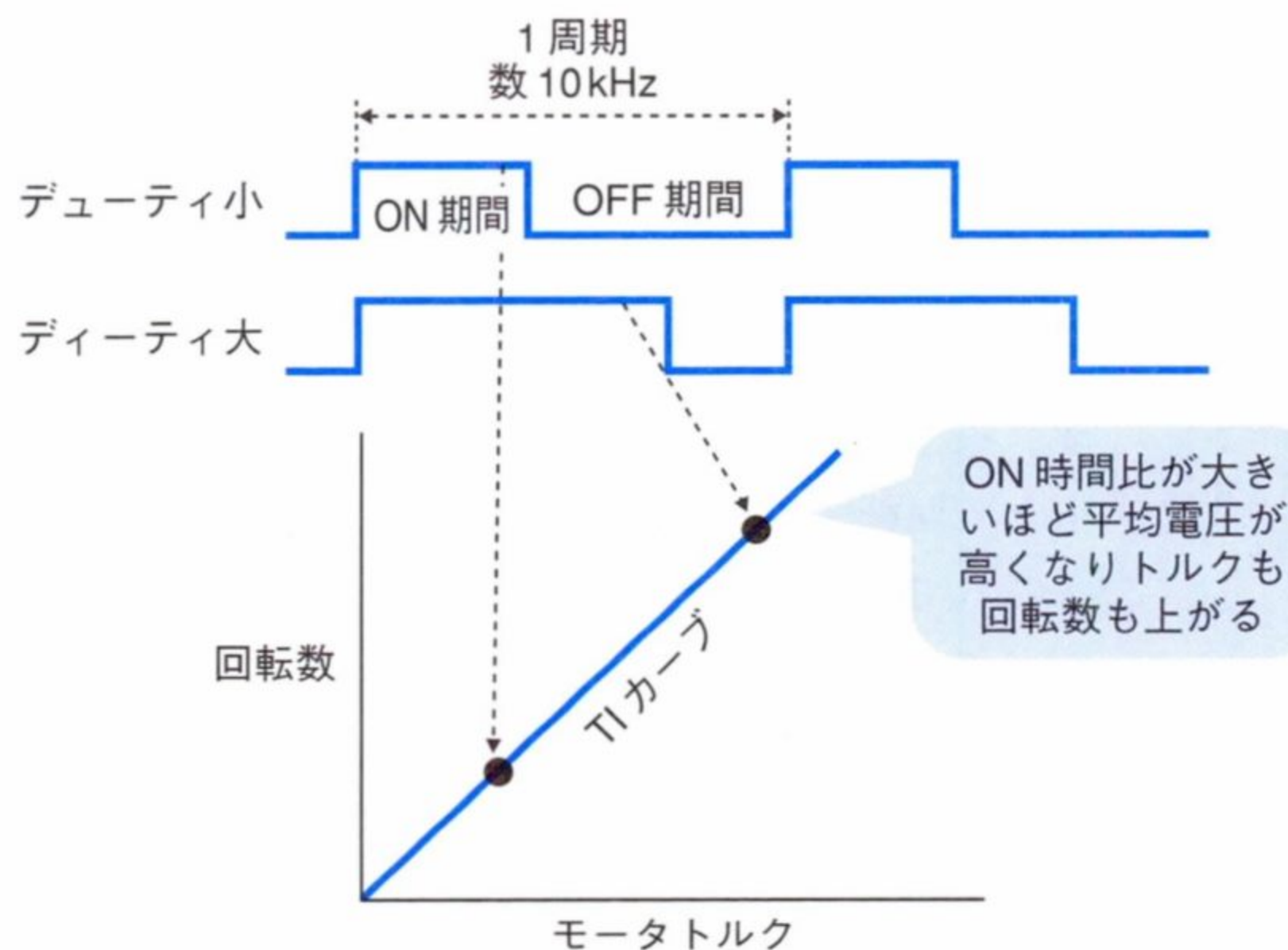
PWMで使われるパルスは、図3.3.8のように、周期は一定で、オンとオフ期間の割合（**デューティ比**）が可変になっている連続パルスです。

用語解説
・デューティ比
一定周期の中でオンにする割合（出力がHigh）。

このPWM制御を行うための基本回路は、図3.3.7と同じ単純なオン／オフ制御回路で、図3.3.7の下側の表のようにオンとする制御用トランジスタの片方をPWMパルスで駆動します。このパルス状の電圧でDCモータを駆動すると、図3.3.8のように、モータを流れる平均電流は、パルス幅の周期に対するオン期間の比率（デューティ比）に比例することになります。つまりデューティ比が小さいと平均電流が小さくなり図のように回転数が下がります。デューティ比が大きくなると平均電流が上がり回転数が上がります。平均電流の大きさに回転数やトルクが比例

しますから、結局、デューティ比によってモータの回転速度やトルクが変わることになります。

アドバイス
簡単な回路で速度制御ができ、発熱が少なく小型のMOSFETで大きな駆動電流を制御できます。

このようにPWM制御をするための回路は通常のオン／オフ回路と全く同じでよいため、簡単な回路で速度制御がデジタル制御できることと、制御用トランジスタがオン／オフ動作ですので、発熱が少なく小型のMOSFETで大きな駆動電流を制御できます。マイコンによるモータ速度制御には大部分このPWM制御が使われています。

◆図3.3.8　PWM制御による速度制御の原理

・PWM制御の周波数に注意

ここで注意することは、PWM制御の周波数の選択です。周波数が低いとモータから音が発生したり、振動が大きくなったりします。高過ぎるとロスが大きくなって発熱したり思うように電力が伝わらなかったりします。一般的に、周波数は数10kHz付近を使うことが多いようです。

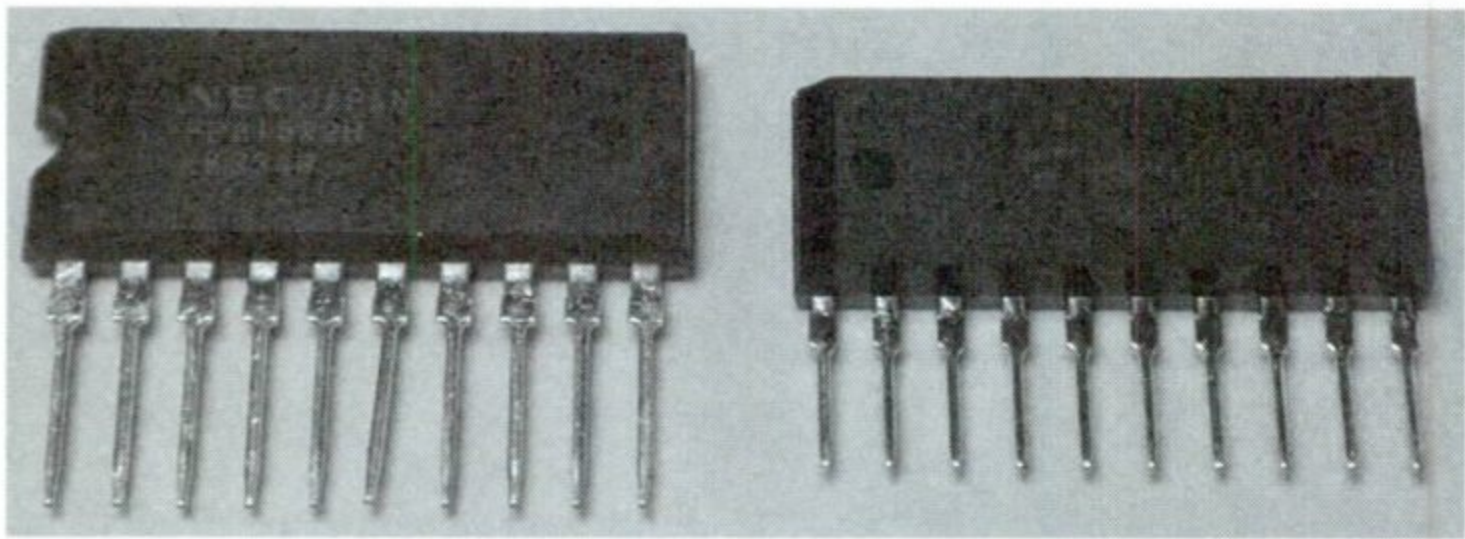
このようにPWM制御では10kHz以上の高い周波数のパルスを扱うため、モータやドライブ回路のノイズ対策を万全にしないと、マイコンが誤動作するなどのトラブルに悩むことになります。

また高い周波数での制御でロスをできるだけ少なくできるように、トランジスタの選定や、制御ドライブ回路の工夫がいろいろなされています。

・トランジスタアレイを使って回路を簡単化する

アドバイス
モータ制御ドライバIC（MOSFETのトランジスタアレイ）を使うと、回路を簡単化することができます。

フルブリッジ構成とするには、4個でペアになったドライブ用のトランジスタが必要ですが、これをまとめて1個のICとしたトランジスタアレイが開発されていますので、これを使って簡単化することができます。

実際の回路を図3.3.9に示します。この例は2個のDCモータの可変速、可逆制御ができるようにした回路で、MOSFETのトランジスタアレイ（MP4212）を使って簡単化しています。

◆写真3.3.2 MOSFETトランジスタアレイ

プログラムでこれを動作させるときは次のようにします。まず、単純なオン／オフ制御として使うときは、図中の表の下側2行のようにマイコンの各ピンをオン／オフ制御することになります。

注意

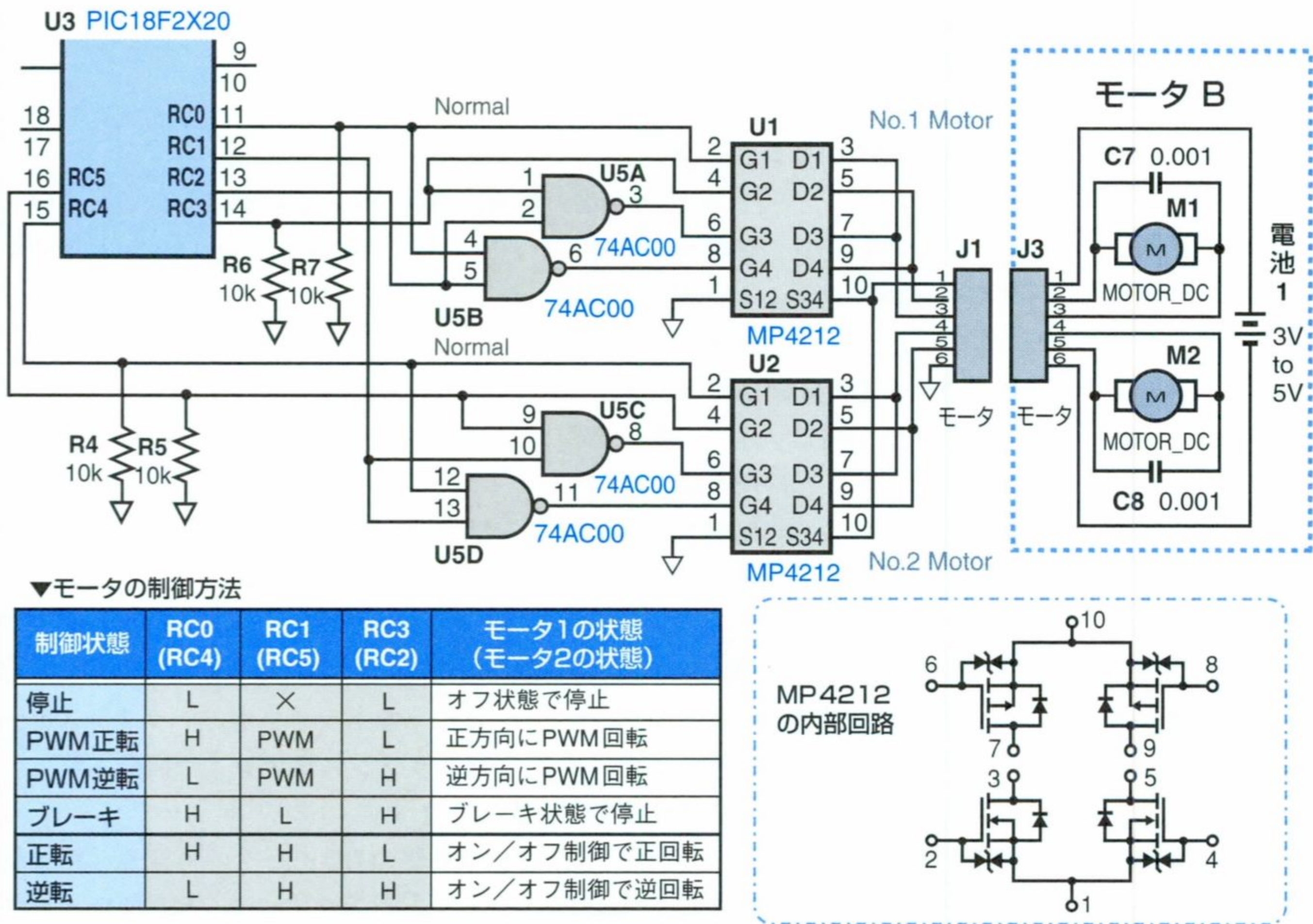
この場合のモータの電源電圧は、マイコンの電源電圧以下とする必要があります。

次にこの回路でPWM制御を行うときは、マイコンの入出力ピンのRC2とRC1がPWMの出力ピンになっていますから、ここからPWMのパルスが出力されます。そこで、表の上4行のようにすれば、いずれかの方向でモータがPWM制御のもとで回転することになります。

これで全く同じ回路構成で単純なオン／オフ制御とPWM制御を実現することができます。

回路図中のR4からR7の抵抗は、電源オン直後にフルブリッジがすべてオフ状態になるようにする**プルダウン抵抗**です。

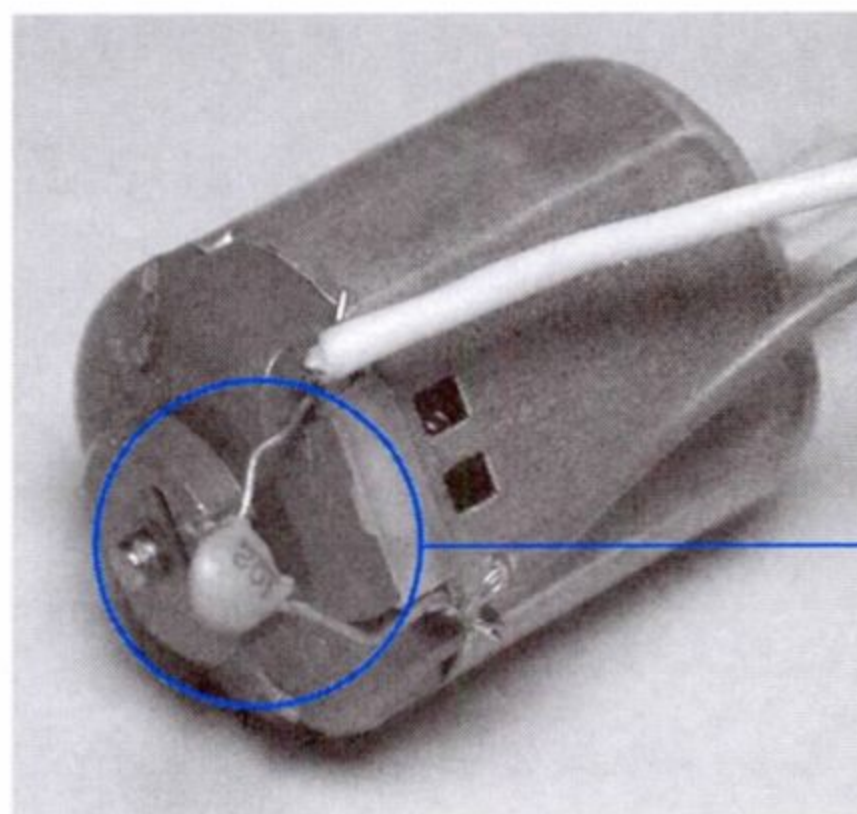
▼モータの制御方法

制御状態	RC0 (RC4)	RC1 (RC5)	RC3 (RC2)	モータ1の状態 (モータ2の状態)
停止	L	×	L	オフ状態で停止
PWM正転	H	PWM	L	正方向にPWM回転
PWM逆転	L	PWM	H	逆方向にPWM回転
ブレーキ	H	L	H	ブレーキ状態で停止
正転	H	H	L	オン／オフ制御で正回転
逆転	L	H	H	オン／オフ制御で逆回転

◆図3.3.9 DCモータ用フルブリッジ回路

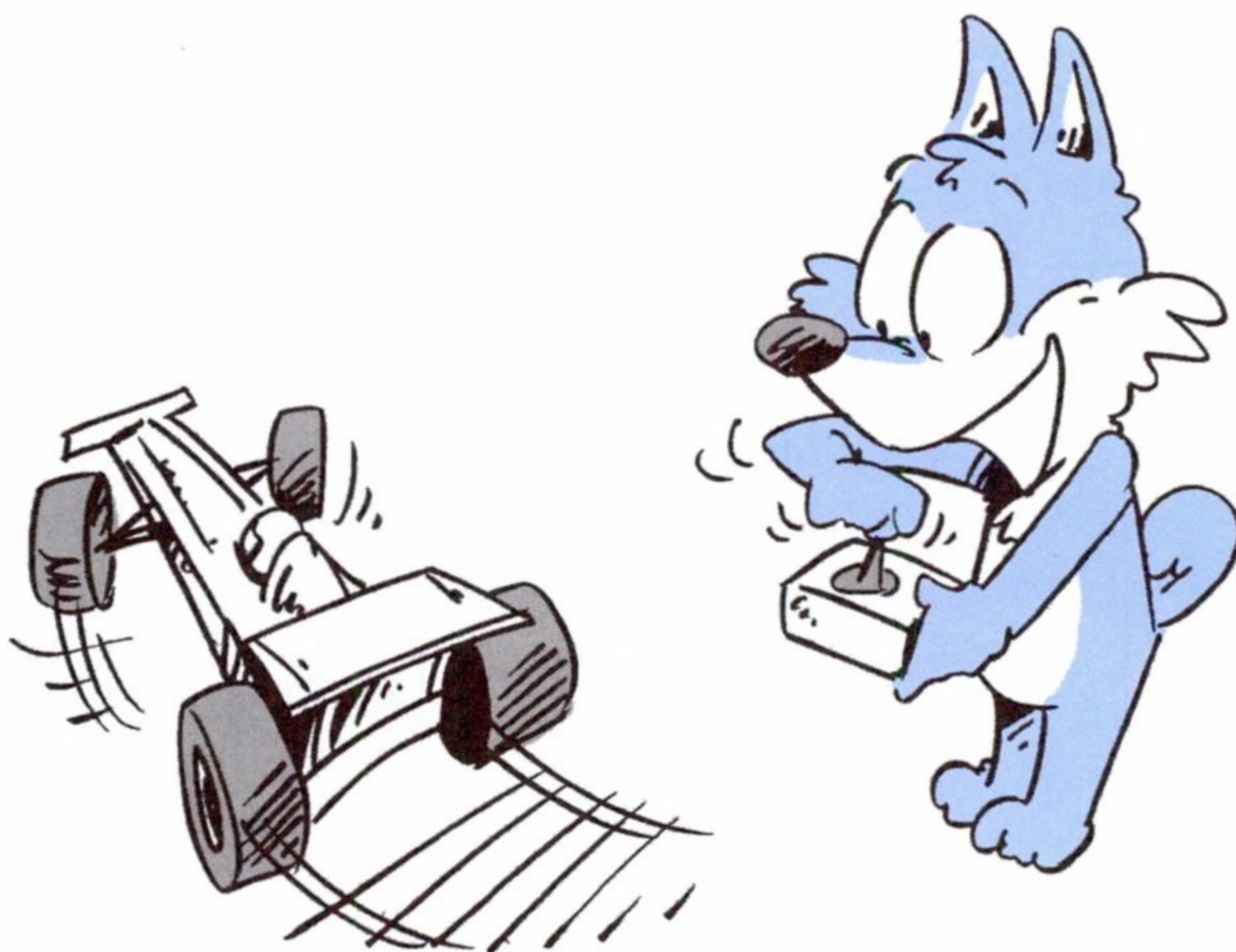
常識

モータにはノイズが外部に出ないように、コンデンサを取り付けること。

・モータ制御ではノイズに注意

モータの制御で注意しなければならないことはノイズの問題です。とくにブラシ付きのDCモータが回転するときは整流子とブラシの間で火花が発生し、これがノイズとなっていろいろな妨害を与えます。これを防止するには、写真3.3.3のように、**モータの端子間に0.001 μF程度のコンデンサを接続します。これでノイズが外部に出るのを抑制できます。**

コンデンサ

◆写真3.3.3 モータにはノイズ対策コンデンサを取り付ける

また、モータを制御するとき、モータの起動電流により電源電圧が大きく変動したり、ノイズとなって妨害されることがありますので、特にモータ用の電源とマイコンの電源が共通の場合には、マイコンへの電源供給にはフィルタなどによる十分のノイズ対策が必要です。安定な動作のためには、**モータとマイコンの電源を分離して、両電源のグランドを1ヶ所で接続する**のがよい方法です。

3-4 電源回路の設計法

アドバイス

ここで紹介する電源回路は、交流100Vを直流1.5V～15Vに変換する装置です。

私たちが実験や工作で使う電源は、比較的小容量で小型の物ですが、電子回路にとっては全てのエネルギーを電源から供給してもらっていることになります。したがって電源の良し悪しが、そのまま動作の安定性や精度の良し悪しを左右することになるので重要な要素です。

私たちの電子工作で必要とされる電源は、通常は直流の1.5Vから15V程度の電圧で、数mAから数100mA程度の電流を必要とします。特に高密度、高速の回路を含むボードは、単体でも数Aを必要とするものもありますが、特殊な用途となります。

この電源の供給元は、通常の環境であれば、商用のAC100V～200Vか、リチウムイオン電池などのバッテリとなります。これらの入力源から直流の1.5Vから15Vを生成するために必要な回路が**電源回路**ということになります。

ここでは、電源回路の考え方と基本的な設計方法について説明しています。

3-4-1 独立の電源ユニットの場合

用語解説

・スイッチング電源
半導体スイッチを用いた電源装置。小型で効率がよく、安定した直流電圧を出力することができる。

アドバイス

電源装置は、ユニット（完成品）、ACアダプタのほかに、キットも市販されています。また、自作することもできます。「3-4-2」以降にノウハウを掲載しておきます。

商用電源のAC100VやAC200Vから直流の1.5V～15Vを生成するには、一昔前は、大型の電源トランスを使って商用電源から直接降圧して数Vの交流電圧としていましたが、50Hzか60Hzと周波数が低いためトランスが大型となり、効率も悪いため発熱するという問題がありました。

これに対し、最近では多くの場合市販の**スイッチング電源ユニット**か、スイッチング方式の**ACアダプタ**を使用します。独立したユニットとして装置内部に組み込むか、ACアダプタとして外付けします。

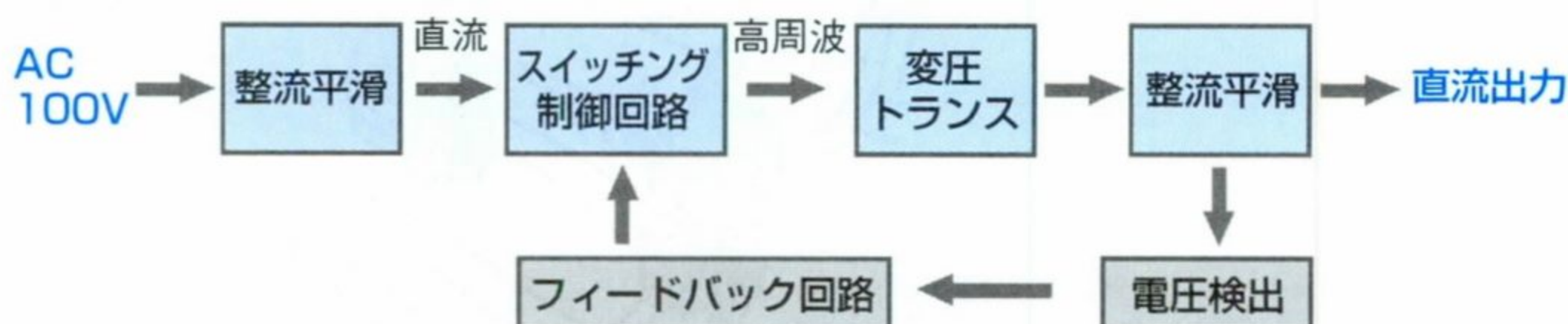
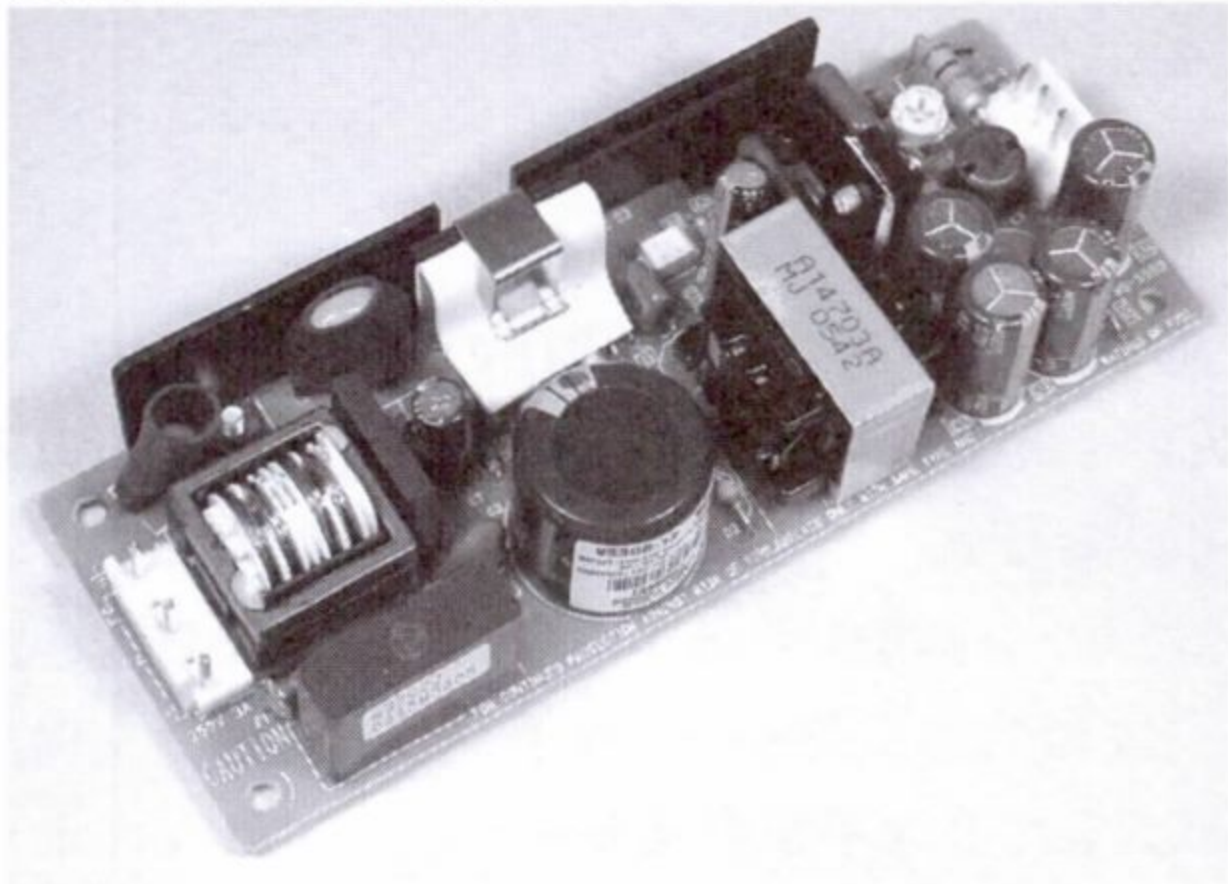
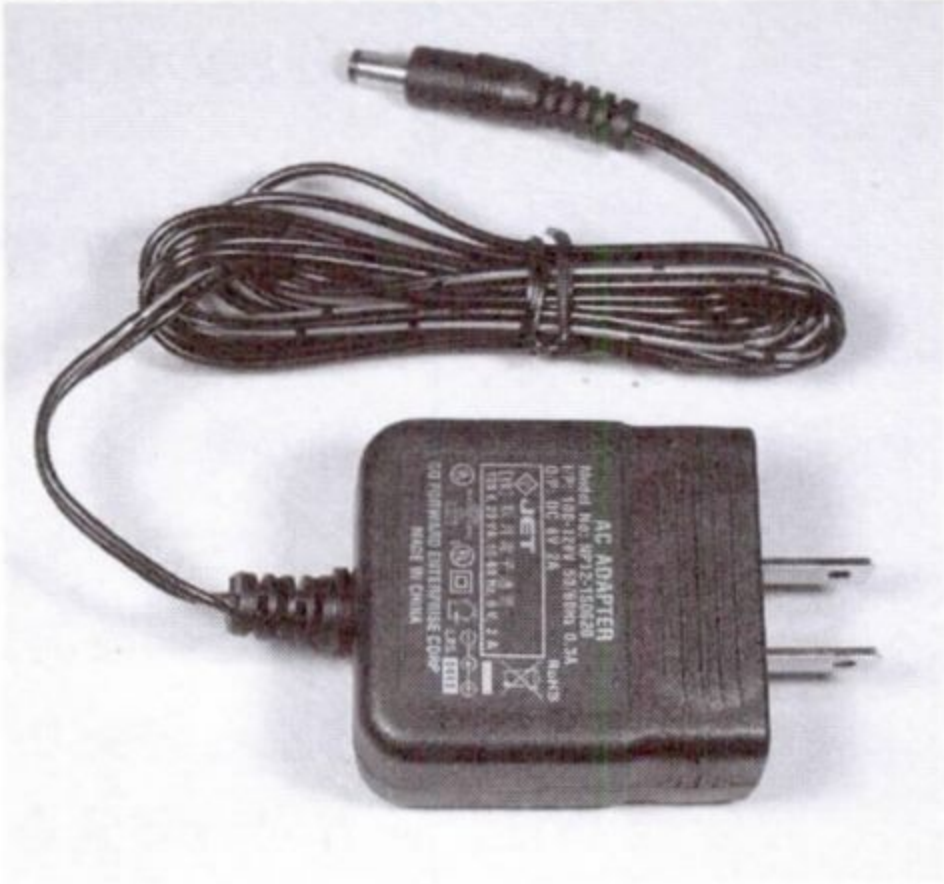
スイッチング電源の内部構成は、図3.4.1のような構成になっています。まず商用AC100VやAC200Vをいったん整流平滑して高い電圧の直流に変換します。これをスイッチング制御部で数10kHz～数100kHzの高い周波数の交流に変換します。この変換後の交流をトランスで降圧して低い電圧に変換します。この交流の周波数が高いことで変換効率もよくなるため小型のトランスとすることができ、小型化が可能になります。この降圧した交流を整流しレギュレータ回路で安定化して必要な直流電圧を生成します。さらにこの出力電圧の変動をスイッチング制御部にフィードバックし、パルス幅変調（PWM）制御により制御して一定の出力電圧になるように制御しています。最近はこれらの制御を1個のICで行うものもできてきましたので簡単な構成にすることができるようになっています。

◆図3.4.1　スイッチング電源の内部構成

写真3.4.1は市販のスイッチングレギュレータユニット（DC12V、2.5A）とスイッチング方式のACアダプタ（DC6V、2A）の例です。

(a)スイッチング電源ユニット（DC12V 2.5A）

(b)ACアダプタ（DC6V 2A）

◆写真3.4.1　スイッチング電源ユニットとACアダプタの例

3-4-2 オンボード電源の場合

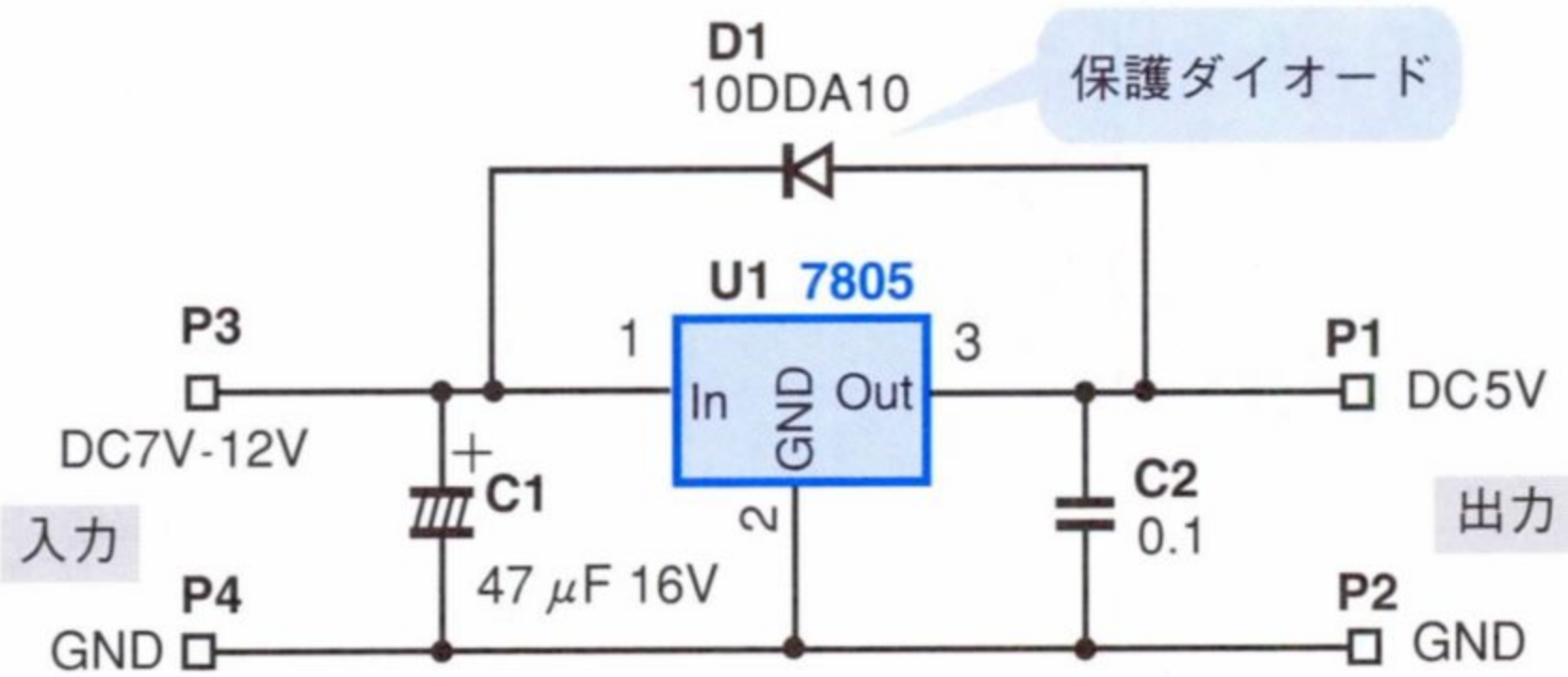
参照

・3端子レギュレータ → p.82

・DC/DCコンバータ → p.84

商用電源のような高圧の交流電源ではなく、ACアダプタやバッテリのような比較的低い直流電源から、必要な直流の1.5V～15Vを生成するには、「**3端子レギュレータ**」による方法と、「**DC/DCコンバータ**」による方法の2種類が多く使われています。いずれもボード上に必要な回路が組み込まれるのが一般的であるため**オンボード電源**とも呼ばれています。それぞれの代表的な回路の設計方法について説明します。

■3端子レギュレータの使い方

正電圧を出力する3端子レギュレータの実用的な回路は図3.4.2のようにするのが標準的な回路です。図の例はDC5Vで最大200mA程度の出力を得られるものです。

◆図3.4.2　3端子レギュレータの標準回路

入力にあるコンデンサC1は、高い周波数を通し、直流は通さないという働きを使って、外部からの高周波のノイズや変動を吸収して抑制します。さらに電気を蓄えるコンデンサの性質を使って、急激に出力負荷が増えて入力源からの供給が

間に合わないような場合に、このコンデンサに蓄えた電気から一時供給して安定な出力を保つようにしてクッションの働きをします。

出力側のコンデンサC2は、高い周波数成分をコンデンサで吸収して少なくすることで、3端子レギュレータの動作を安定化する働きをします。これで、入力の7V～12V程度の直流から、安定な5Vを供給できます。

・保護ダイオードの働き

常識

保護ダイオードをつける。

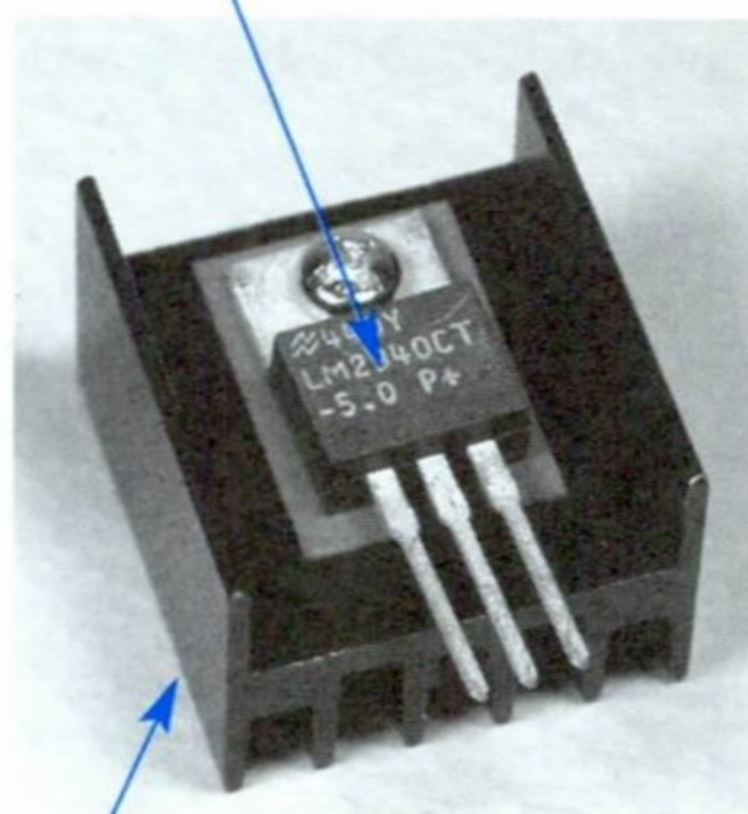
ダイオードD1の働きは、通常動作中は入力側の電圧の方が高いですから、ダイオードは何の働きもしません。しかし入力電源をオフにしたとき、出力側にたくさんコンデンサが接続されているため、そこに残っている電気によって入力より出力電圧の方が一時的に高くなり、3端子レギュレータに逆方向に電流が流れて壊れてしまうことがあります。D1はこの現象から3端子レギュレータを保護するために、逆方向の電気をバイパスして3端子レギュレータには流れないようにする働きをします。

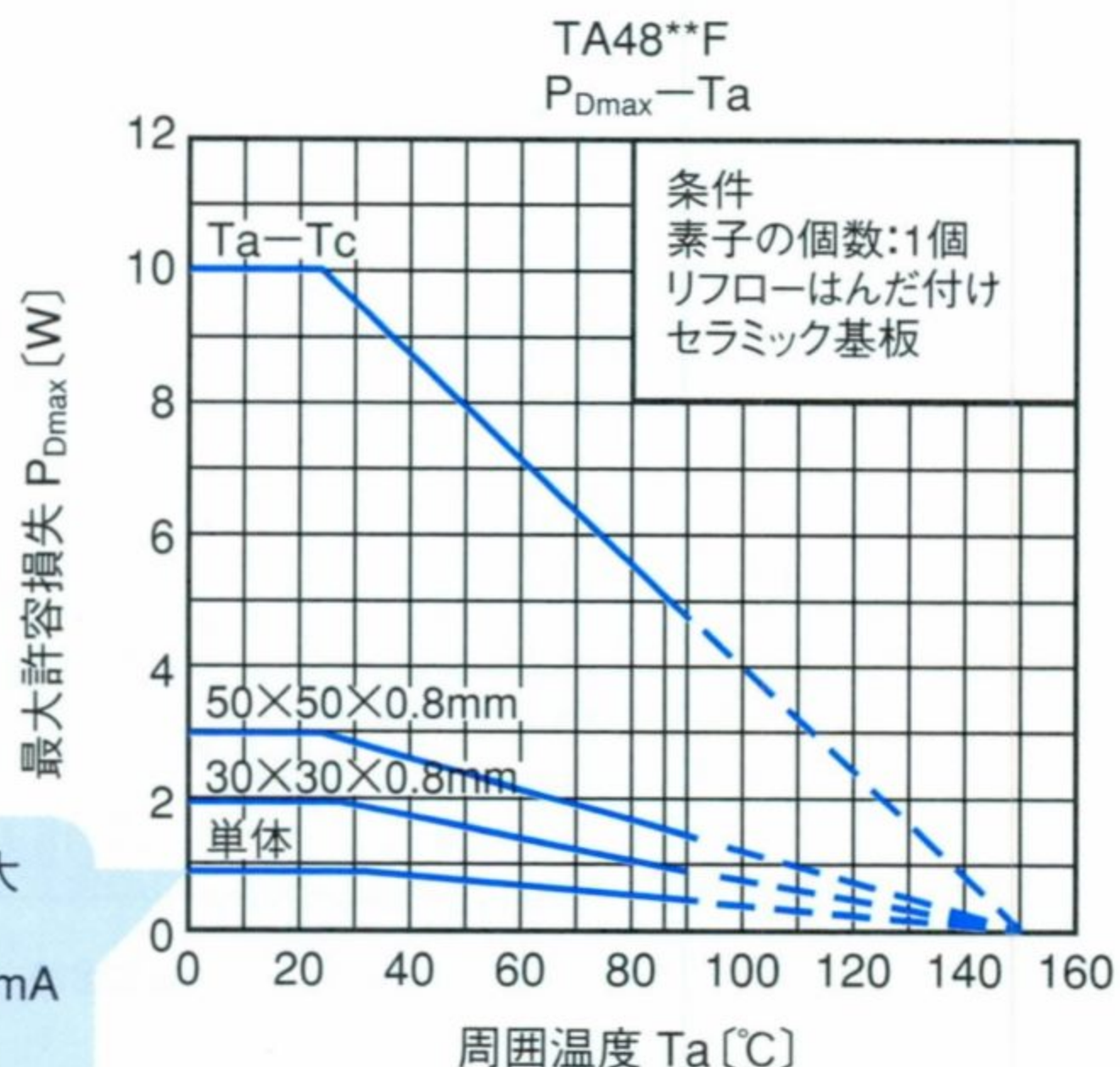
・3端子レギュレータは発熱に注意

3端子レギュレータの実装方法は、トランジスタと全く同じように扱うことで問題ありません。しかし特に熱設計では、入出力間電位差と出力電流に関係して変わりますので注意して設計する必要があります。つまりレギュレータ本体で消費する電力により制限を受けるわけで、この関係は図3.4.3で表されます。

アドバイス

3端子レギュレータは放熱に気を使うようにしてください。

図2.6.8の写真のように、放熱器をつけて使用するとよいでしょう。

例えば3.3V出力のTA48033Fの場合、図のように放熱対策なしの単体で25℃のときは1Wが最大許容電力ですから、5V入力のときは588mAまで流すことが可能ですが、9V入力にすると175mAが限界となってしまいます。

このように入出力間の電位差で流せる最大電流が制限されますので、注意が必要です。

◆図3.4.3 可変型レギュレータの出力電流

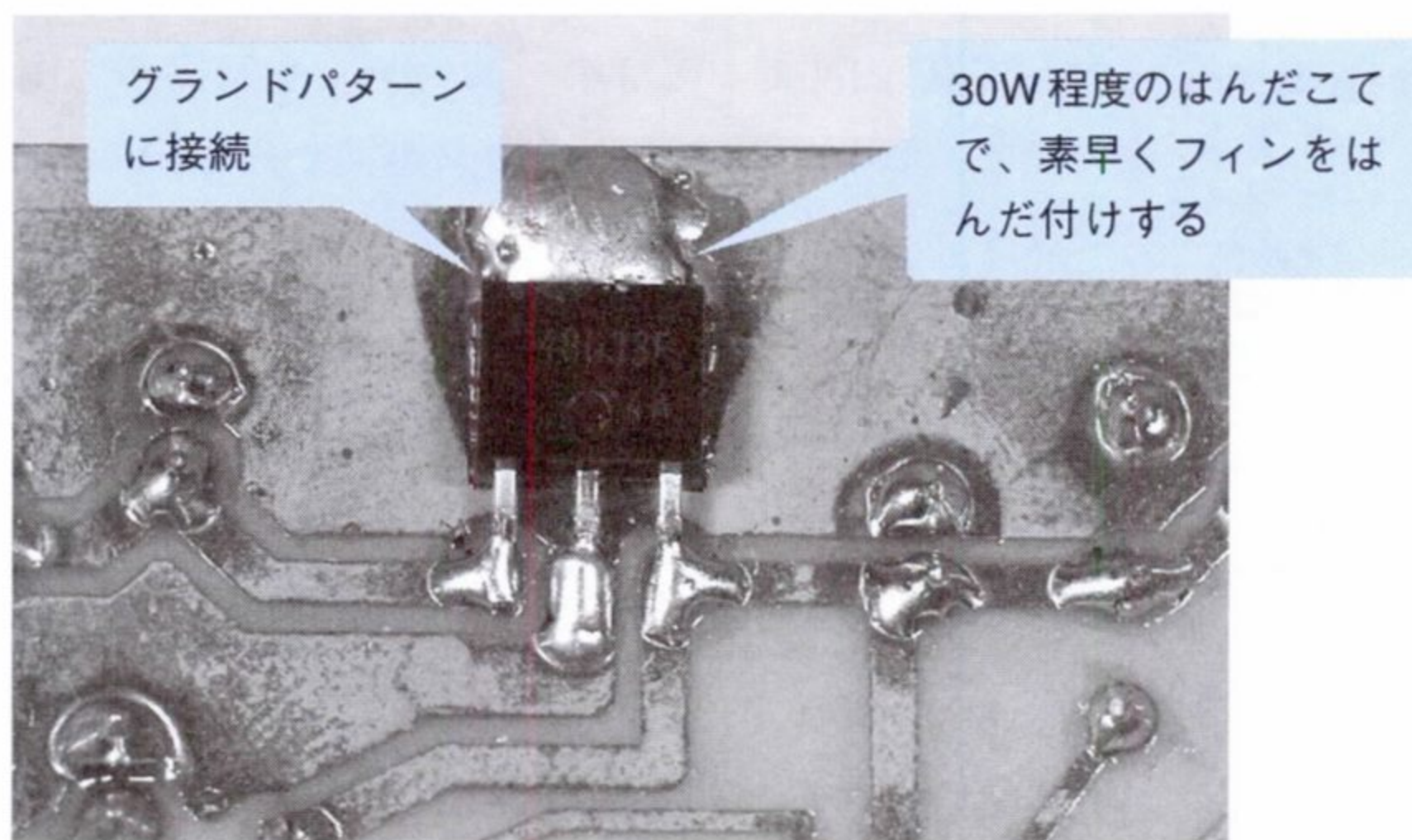
教えて

フィンを基板にはんだ付けするのはなぜ？
〔回答〕
フラットパッケージ（表面実装）タイプの3端子レギュレータを利用する場合は、直接、3端子レギュレータのフィンをプリントパターン（グランド）にはんだ付けします。つまり、プリントパターンを放熱器の代わりに利用するわけです。

・フラットパッケージタイプの実装方法

3端子レギュレータの実際の実装方法では、最近は**フラットパッケージタイプ**が多くなりましたので、写真3.4.2のように、プリントパターンに直接フィンをはんだ付けして使います。この場合フィンはグランド端子と接続されていますので、グランドパターンにフィンをはんだづけします。このパターンを介して基板そのものが放熱器となりますので、それだけ最大許容電力が大きくできます。このはんだづけは、パターンが広く熱容量が大きいので、30W程度の大型のはんだこてを使うと素早くできます。

グランドパターンに接続

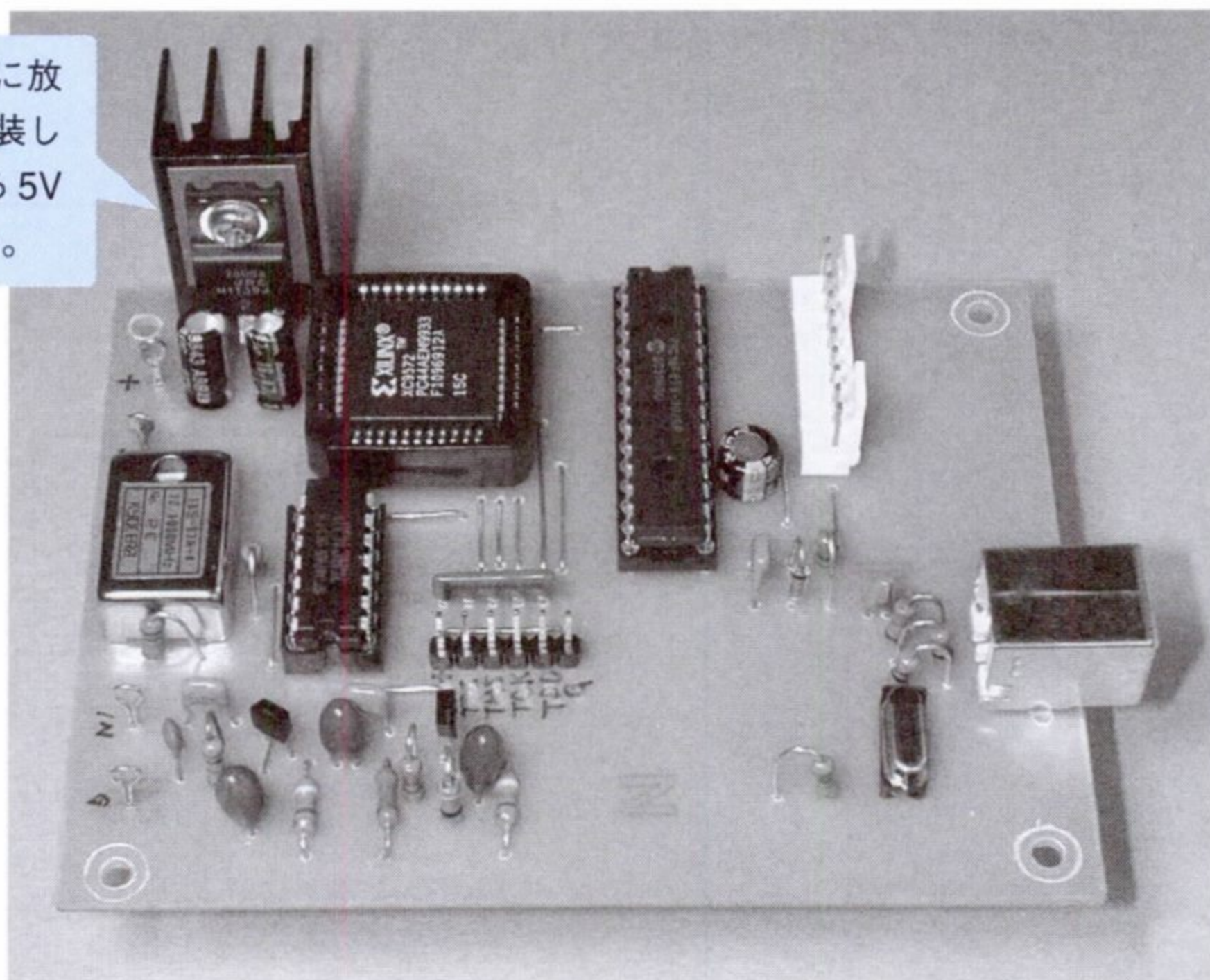
30W程度のはんだこてで、素早くフィンをはんだ付けする

◆**写真3.4.2**　3端子レギュレータの実装例

参考

図3.4.3の写真、写真3.4.3の3端子レギュレータがTO-220タイプです。

・TO-220タイプの実装方法

TO-220タイプのタブつきの3端子レギュレータを使う場合には、トランジスタと同じように放熱器を付けて使うことが多くなります。このような実装例を写真3.4.3に示します。これは外部から7～9VのACアダプタを接続し、5Vの電源を作成しています。

TO-220タイプに放熱器を付けて実装したもの。9Vから5Vを作成している。

◆**写真3.4.3**　TO-220タイプの実装例

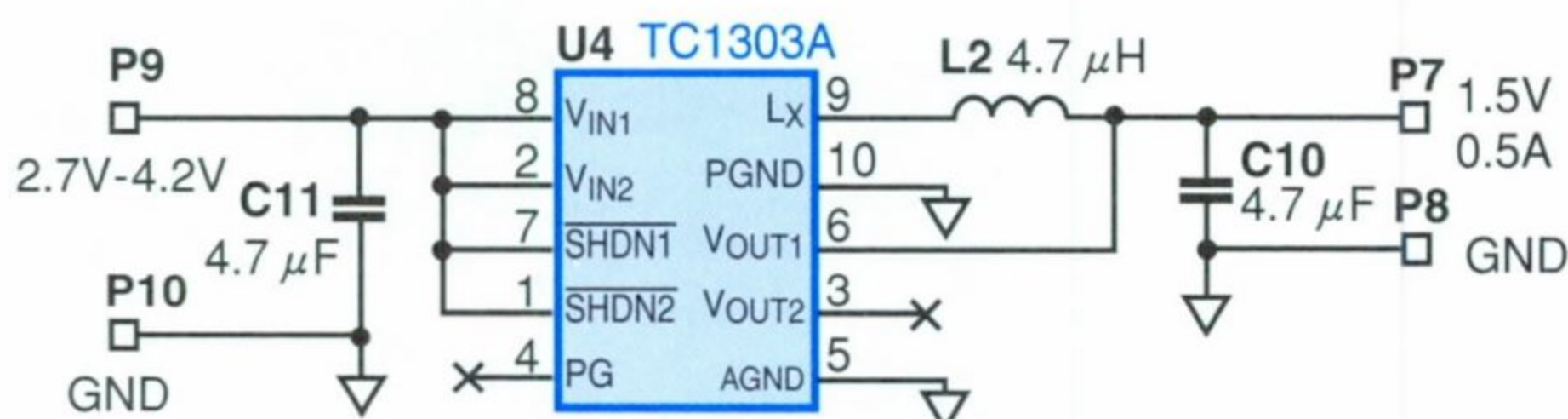
■DC/DCコンバータ（ステップダウンコンバータ）の使い方

入力より低い電圧の出力を生成するDC/DCコンバータで、最近になって多くのLSIが低い電圧を要求するようになったため、よく使われるようになりました。

負荷電流が少ない場合には1個のICで構成できてしまう場合もありますし、数Aという大電流を流せる構成とする場合にはMOSFETを外付けにして構成したりします。

図3.4.4はワンチップICで構成した比較的小容量の**ステップダウンコンバータ**の回路例です。ICのLxの出力ピンがPWM出力となっていて、コイルL2とコンデンサC10によるローパスフィルタ後の電圧をフィードバックとしてVout1に入力してIC内部でPWMのデューティを制御して出力電圧が一定になるようにしています。これでリチウムイオン電池から1.5V　0.5Aと比較的大きな電流を取り出せます。

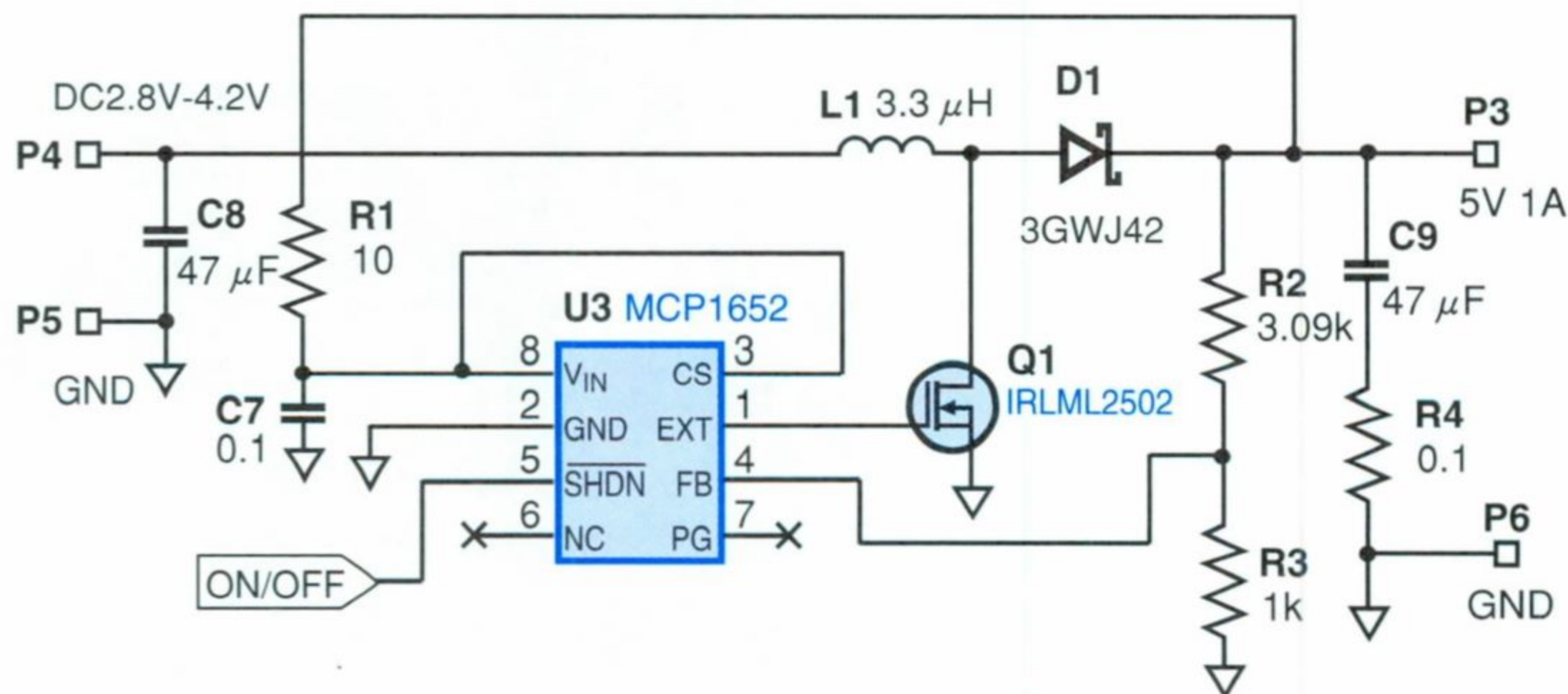
用語解説

- **DC/DCコンバータ**
  ある直流電流から、異なる電圧の定電圧出力を作り出す装置。スイッチング・レギュレータとも呼ばれている。
- **ステップダウンコンバータ**
  入力より低い電圧の出力を生成するDC/DCコンバータ。
- **ローパスフィルタ**
  ある特定の周波数より低い周波数だけを通過するようにしたフィルタ。
- **デューティ比**
  一定周期の中でオンにする割合。

◆図3.4.4　ステップダウンのDC/DCコンバータ例

■DC/DCコンバータ（ステップアップコンバータ）の使い方

入力より高い電圧を生成するDC/DCコンバータで、バッテリなどからより高い電圧を生成するのに使われます。こちらも負荷電流に応じて各種の構成がありますが、図3.4.5は比較的簡単な構成の回路例です。外付けのMOSFETを制御用に使い、これのスイッチング制御を専用のICで行っています。MOSFETでスイッチングされたパルスが、コイルL1の両端に高い電圧を発生させます。これをショットキーダイオードD1で整流し、その出力電圧をR2とR3で分圧してフィードバックし、MOSFETのPWM制御を行って一定の出力電圧となるよう制御しています。

用語解説

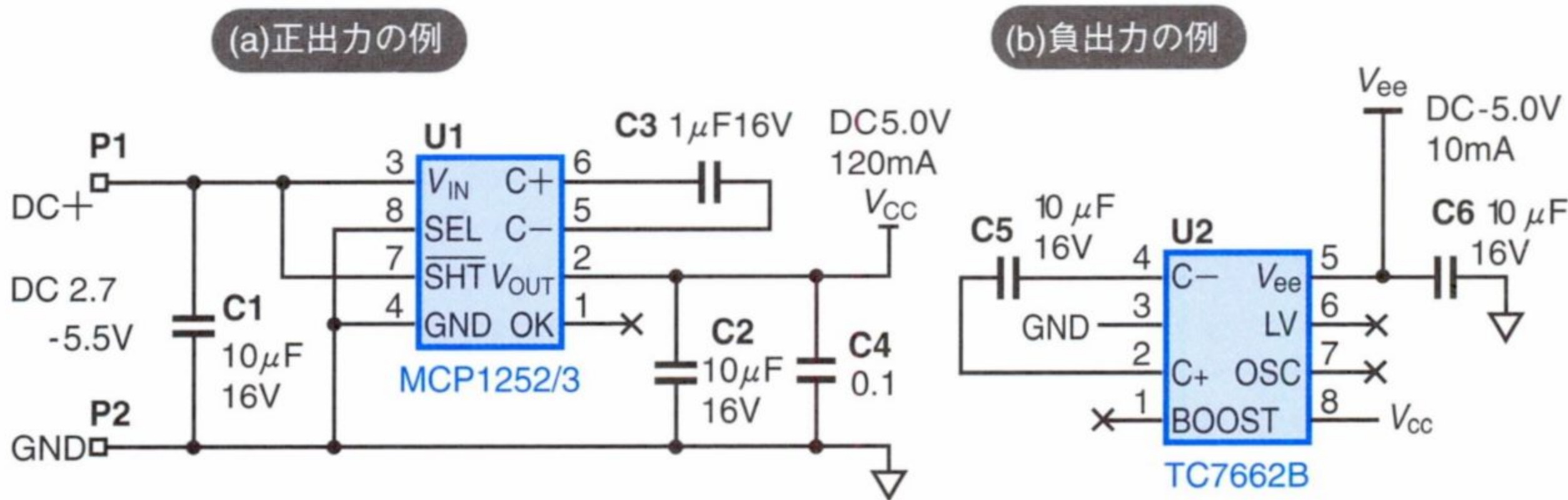
- **ステップアップコンバータ**
  入力より高い電圧を生成するDC/DCコンバータ。

◆図3.4.5　ステップアップのDC/DCコンバータ例

■チャージポンプ方式のDC/DCコンバータ

用語解説

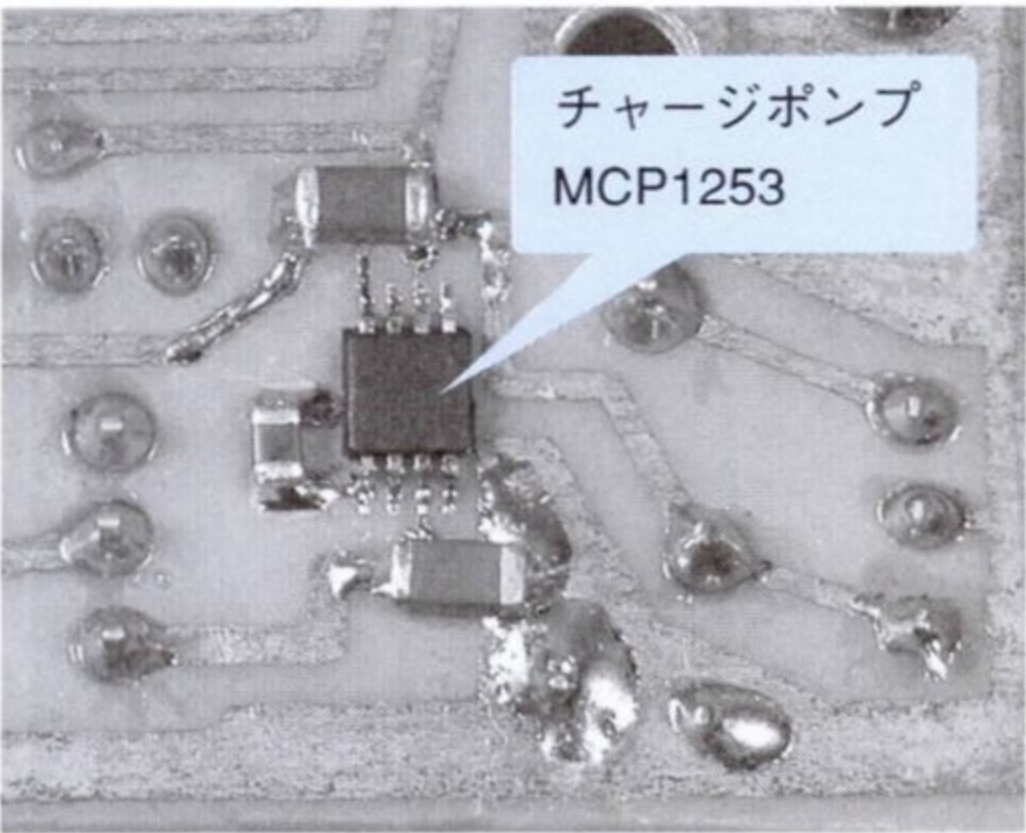
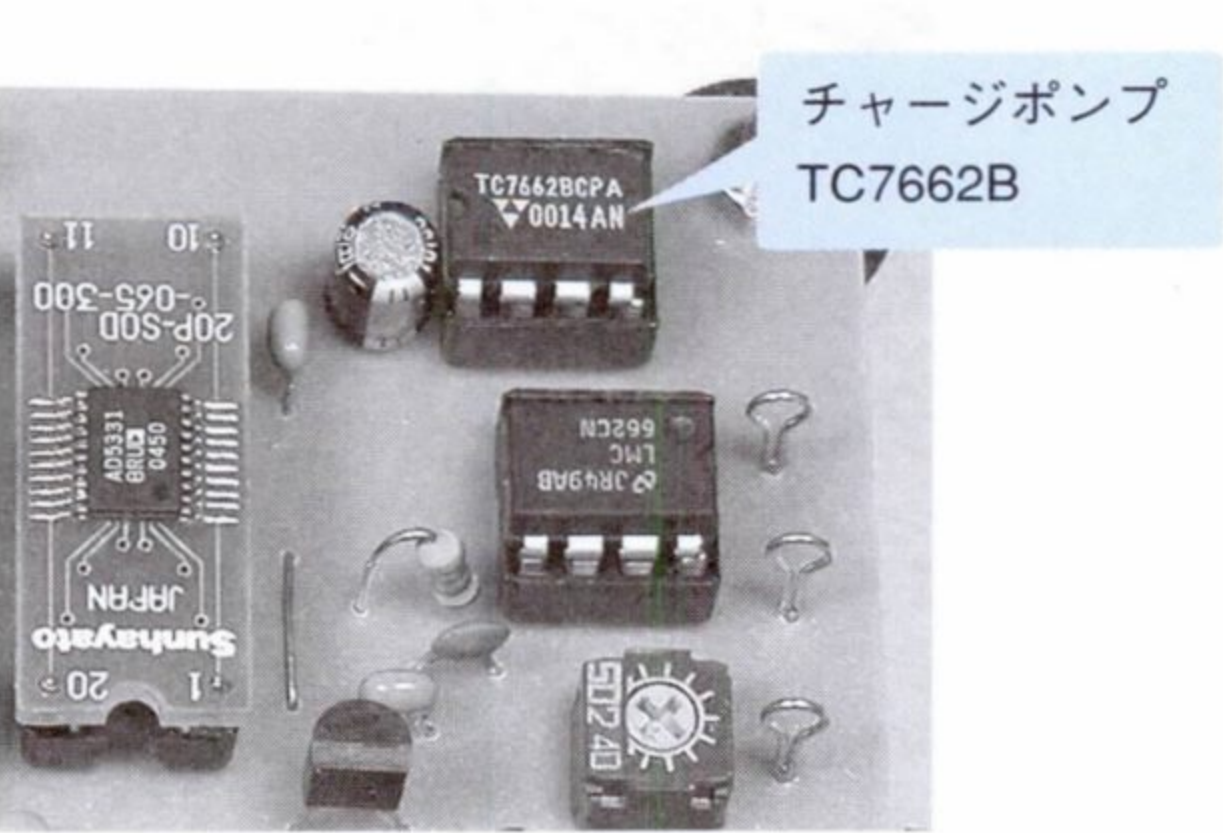
・**チャージポンプ方式**
　コンデンサだけで構成した電圧を上昇させるためのDC/DCコンバータ回路。

負荷電流が少なくてよい場合には、コンデンサをうまく使った**チャージポンプ方式**のワンチップICでDC/DCコンバータが構成できます。チャージポンプ方式ではコイルがなく、コンデンサだけで構成されます。したがって比較的簡単な回路で構成できます。

図3.4.6がその例で、図(a)は正出力の例で、数10mAの負荷で使えます。図(b)は入力の正電圧と同じ絶対値の負電圧を出力するという便利なICですが、負荷電流はわずかしか取れません。オペアンプ回路で両電源が必要な場合などに便利に使えます。

◆図3.4.6　チャージポンプ方式のDC/DCコンバータ例

参考

・MCP1252/3
　Microchip社の製品。チャージポンプIC。

実際に使用した例は写真3.4.4のようになります。(a)はMCP1253の使用例で電池から5V電源を生成するために使っています。(b)はTC7662Bの使用例で、出力オペアンプ用にマイナスの電源を生成するためチャージポンプICを使った例です。これでアンプ出力が0ボルトまで出せるようになります。

◆写真3.4.4　チャージポンプDC/DCコンバータICの使用例

第4章

自作のノウハウ

これまでで電子工作に必要とされる常識や部品の知識、回路設計方法をもとに回路図が読み書きできるレベルになったことと思います。しかしこれらの回路図をもとに実物として動くものを作るには、実際の設計をする方法や、組み立て方を知る必要があります。そこで、本章では、実際の回路図作成から実物を自作するノウハウを紹介していきます。

筆者が実際に工作をする手順に沿って、ポイントごとに具体的な自作方法について解説していきます。これがベストな方法ではありませんが、そこは趣味の世界、自由に、ひとつの方法にとらわれないで自分流で進めましょう。

また最近では、電子工作をする多くの方々が、パーソナルコンピュータを持っていることと思います。そこで、このパソコンを徹底的に活用し、電子工作の道具とすることにより、もっとレベルアップした設計を楽しむ方法を中心にして紹介していきます。

4-1 電子工作用の設計ツール

最近はパソコンとインターネットが広く利用されており、電子工作の世界でもこのパソコンとインターネットが非常に力強い見方となってくれます。

電子工作には、まず何をどう作るか、どんな部品があるか、どんな方法があるかなどアイデアを絞ることが必要です。これらの情報を集める手段としてインターネットは強力な道具です。

最近ではほとんどの部品メーカが自社のホームページで部品に関するデータ（データシート）を公開していますので、部品の使い方のオリジナルの情報がすぐ入手できます。さらにはオンライン販売をしているショップも多く、個人でも最新の部品を入手できるようになりました。

これらの情報を活用すれば、最新のデバイスで、最新機器をアマチュアが製作することも容易になります。

■フリーソフトを活用する

パソコンとインターネットの活用が最大効果を発揮するのは、やはり設計用の道具となるフリーソフトが数多く紹介され、また簡単に入手できるようになったことです。

回路図作成やプリント基板のパターン図作成は、ちょっと前までは、手書きしたり、レタリングで貼り付けたりして作成していましたが、今ではすべてフリーソフトを利用すれば、パソコン上で描くことができます。自由に消したり、移動したり、部品を登録しておけば、いつでも同じものをすぐ取り出して貼り付けできますし、回路図とパターン図を連携させることもできます。

用語解説

・**EDA**
（読み：イーディーエー）
設計作業を自動化しサポートするためのソフトウェア。

・**設計用（EDA）ツール**

① **図面作成**：CAD（キャド）。筐体の配置や設計などに使う。

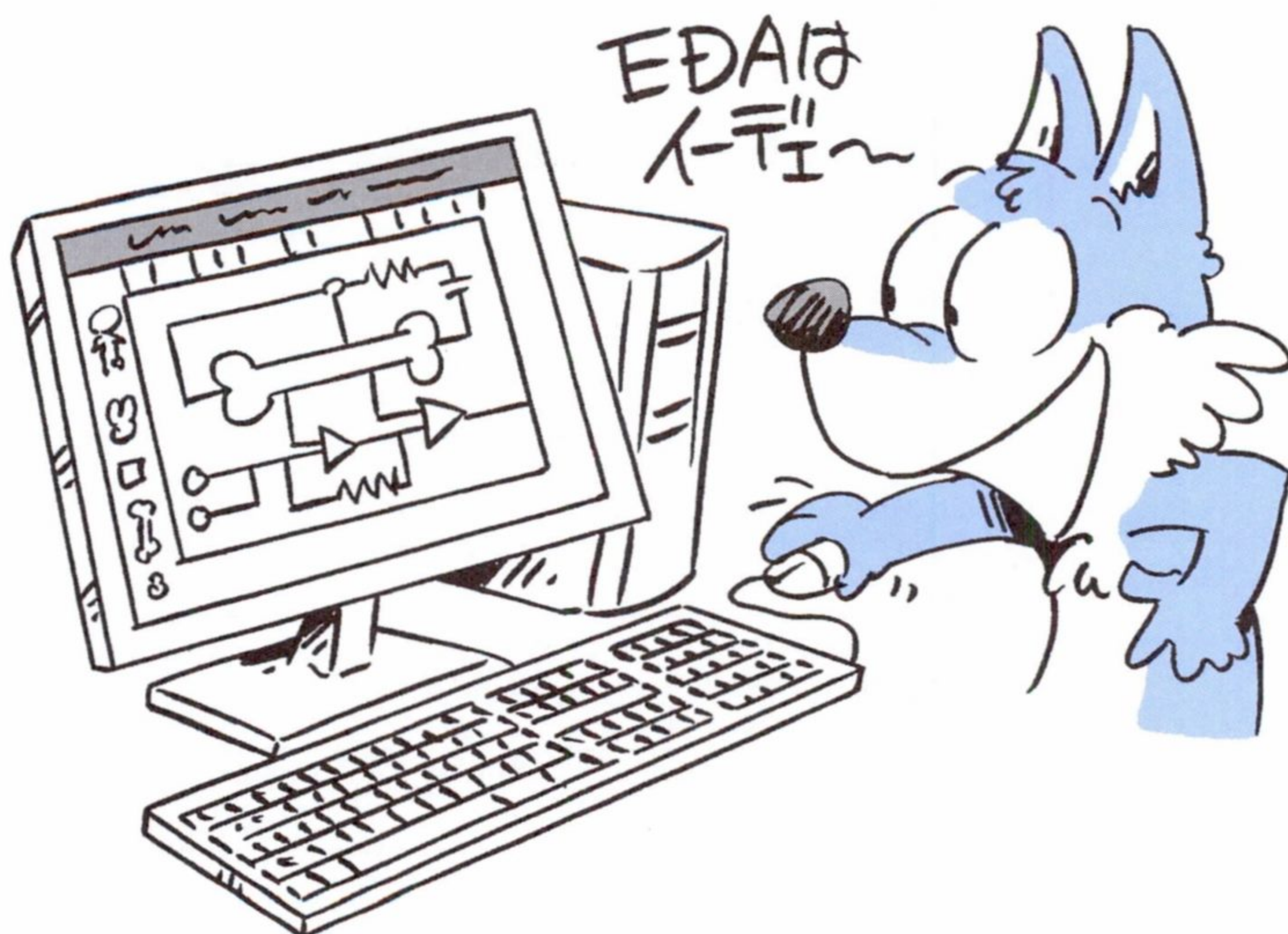
② **回路図作成**：回路図エディタ（パターン作成ソフトと連携できるものもある）。

③ **パターン図作成**：プリント基板を作成するために必要なパターン図を作成するためのツール。

さらに高度な道具としては、組み込むケースや、ロボットの躯体の構造設計までできてしまう本格的な2次元CADもあります。

このような道具の中で、現在フリーまたは小額で利用できるものには、表4.1.1のようなものがありますが、日々改良、追加されていますので、インターネットで検索してみるとよいでしょう。

◆表4.1.1　代表的なフリーの設計ツール

名称	機能概要	入手先	価格・制限事項
BSch3V	水魚堂の回路図エディタ。関連ソフトがある。	http://www.suigyodo.com/online/schsoft.htm	無料 制限事項なし
EAGLE	回路図作成とパターン図作成を一体化した強力なツール。オートルータという自動パターン描画機能もある。	http://www.cadsoftusa.com/ または http://www.interq.or.jp/japan/se-inoue/eagle.htm または http://homepage3.nifty.com/circuitboards/	無料版と有償版がある。無料版は基板サイズ制限あり。 書籍もある。
D2CAD K2CAD	回路図作成とパターン図作成用のツール。ガーバーデータ生成もできる本格的なツール。	http://www.yansoft.com/index.html	シェアウェアで数千円
CADLUS	回路図作成のDesignとパターン作成のXとがあり連携できる。	http://www.p-ban.com/	無料
TINA	電子回路シミュレータ。 回路図エディタ。 PCBレイアウト機能。	http://www.designsoftware.com/	無償版（TINA-TI） 有償版には教育版もある。 関連書籍もある。
JW-CAD	構造用2次元CADでフリーのCADとしては本格的なもの。 筐体の配置や設計に使う。	http://www.jwcad.net/	無料、制限なし 書籍もある
LilliCad	汎用2次元CAD 簡単操作で使いやすい。	http://www.pluto.dti.ne.jp/~ran-yu/LilliCad.html	無料、制限なし

4-2 回路図・パターン図の作成ツール

つい最近まで手書きで回路図を描き、パターン図もマジックインキで塗ったり、レタリングを貼り付けたりして作成していましたが、パソコンとインターネットの普及とともに、便利なツールが入手できるようになりました。回路図やパターン図を作成するソフトウェアが登場し普及しているのです。さらにうれしいことに、私たちアマチュアが電子工作のために使えるフリーソフトウェアによる回路図作成ツールやパターン図作成ツールも数多く提供されるようになってきました。

そこでこれらをおおいに活用してしまおうということで、ここではフリーソフトウェアによる回路図作成やパターン図作成方法の例を紹介します。それでは、筆者が日常使い慣れているドイツのCadSoft社のEAGLEというツールによる回路図作成からパターン図作成までの手順を説明していきます。

4-2-1 回路図・パターン図作成ツール「EAGLE」の概要

EAGLEは回路図作成とパターン図作成の両方を1つのツールでできるようになっています。Windows版とLinux版がそれぞれ用意されています。このEAGLEの概要を説明します。

参考

「EAGLE」のフリーウェアバージョンは、CadSoft社のホームページからダウンロードできます（表4.1.1にURLを掲載）。

インストールは各自で画面に従って行ってください。

■EAGLEの価格と構成

まず、EAGLEにはいくつかのバージョンがあり、価格と構成に表4.2.2のような差がついています。特に非営利目的（教育用または評価用）として特別なバージョンが用意されていて、Light Editionは無料で使えます。作れる基板サイズと回路図枚数に制限がありますが、アマチュア工作用としてはこれで十分使えます。

◆表4.2.2 EAGLEのバージョン（1ユーザの場合）

バージョン	価格	内容構成と制限事項
Light Edition	$49 非営利目的であれば無償	レイアウトエディタ＋回路図エディタ＋オートルータ。 2層まで。100×80mmサイズまで。回路図は1枚のみ。
Standard Edition	$199	レイアウトエディタ
	$199	回路図エディタ
	$199	オートルータ
	制限事項	4層まで、160×100mmサイズまで、回路図は99枚まで。
非営利目的用 Non-Profit Version	$125	レイアウトエディタ＋回路図エディタ＋オートルータ。 4層まで、160×100mmサイズまで、回路図は99枚まで。
Professional Edition	$399	レイアウトエディタ
	$399	回路図エディタ
	$399	オートルータ
	制限事項	16層まで、1,600×1,600mmサイズまで、回路図は99枚まで。

■EAGLEの機能

機能については下記のような特徴があります。

① プロジェクトによる統合管理

回路図からネットリスト、パターン図と一連の全てのファイルが“Project”として統括管理されるので、ファイルの管理が容易です。

② 回路図・パターン図連動編集機能

回路図を作成した段階でパターン図も編集できるようになり、以降は同時進行ができ、回路図を変更するとすぐパターン図にも反映されます。ライブラリ作成時に回路図記号と一緒にパターン図記号も作成しておけば、自動的にラッツネストでパターン図の接続が行われます。

図の拡大・縮小、回転・反転、移動、削除、コピー、Undo操作がWindowsライクにできます。回路配線はクリックだけで連続操作が可能です。

③ ライブラリエディタ

部品を作成するための機能で、もともとCadSoft社からフリーの部品ライブラリが提供されていますし、ユーザが作成したライブラリもCadSoft社に登録されているものは自由にダウンロードできるようになっています。ライブラリにはデジタル、アナログIC以外に、ディスクリートの各部品や真空管も用意されています。

さらに自分専用の部品ライブラリを作成することができ、既存のものをコピーして新たに部品を追加作成したり、既存のものを変更して新たなライブラリを作成することもできます。このライブラリ作成の自由度が高いのと、比較的簡単にできるのがEAGLEの特徴です。

④ オートルータ機能

フリーのツールでありながら自動パターン配線機能を持っていて、かなりのパターン描画を自動で行わせることができます。もちろん手動でラッツネストをもとにパターンを描くこともできます。とくにグランド等のベタパターン描画機能があるので、ベタパターン作成が容易にできます。

用語解説

・ネットリスト
回路図エディタで作成した結果を、テキストファイルのリスト形式で出力したもの。

・ラッツネスト
パターン配線の補助用に、ピン間の接続を直線で表したもの。

・Undo
(読み：アンドゥ)
もとに戻すこと。

・ディスクリート部品
抵抗、コンデンサ、ダイオードなどの個別部品。

・ベタパターン
基板のパターン配線が完了した後で、パターンの空いている部分をベタのパターンで塗りつぶしたもの。

4-2-2 作業環境の作成：EAGLE

実際にEAGLEで回路図やパターン図を作成する手順を説明します。まず作業を行うための環境を準備する手順で、通常は下記のステップで行います。

① プロジェクトを作成する。
② 回路図のウィンドウを生成し、ファイルとして保存する。
③ パターン図のウィンドウを生成し、ファイルとして保存する。

■プロジェクトの作成

EAGLEを起動すると開くコントロールパネルで、図4.2.1のように『Projects』を選択して右クリックで表示されるメニューから『New Project』を選択し、プロジェクトを新規作成します。この名前がそのまま格納ディレクトリ名になります。

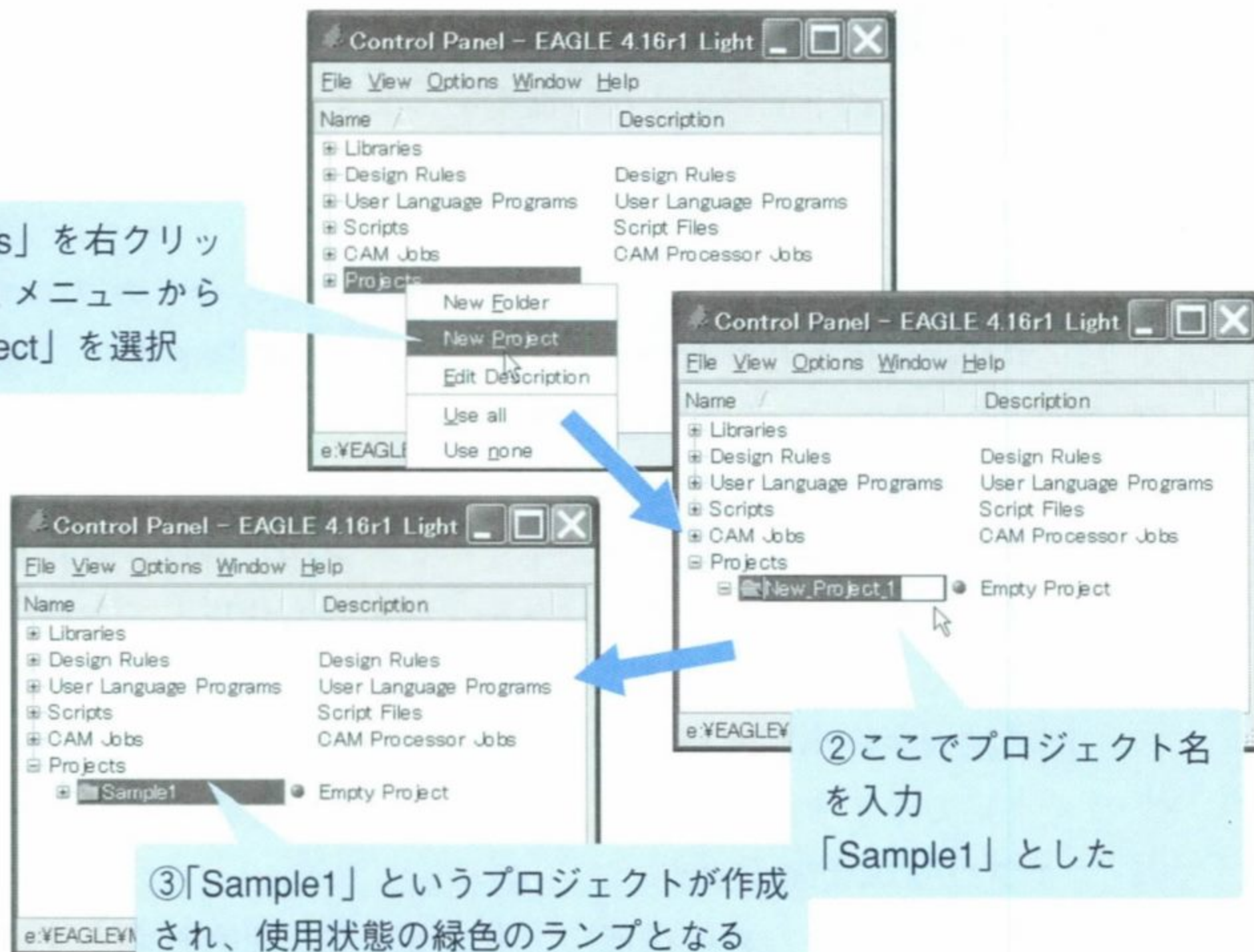
アドバイス

EAGLEを起動するには、EAGLEの起動用のアイコンをクリックします。

EAGLE

参考

本書の解説で利用したEAGLEのバージョンは「EAGLE 4.16r1」です。

①「Projects」を右クリックし、開くメニューから「New Project」を選択

②ここでプロジェクト名を入力「Sample1」とした

③「Sample1」というプロジェクトが作成され、使用状態の緑色のランプとなる

◆図4.2.1 プロジェクトの作成

■回路図のファイルを作成

次に回路図とパターン図のファイルを生成します。まず図4.2.2のように、新規に作成したプロジェクトのSample1を右クリックすると開くメニューで『New』を選択、続いて開くメニューで『Schematic』を選択すると、回路図を作成するためのウィンドウが新たに開きます。何も描画しない段階でこのウィンドウをファイルとして保存してしまいます。回路図エディタウィンドウのメインメニューで『File → Save as…』として名前を付けて「Sample1」のプロジェクトフォルダの中に保存します。ファイル名称は何でもよいですが、プロジェクト名と同じ「Sample1.sch」としておきます。

これで回路図を作成する準備は完了です。

用語解説
・Schematic
回路図のこと。

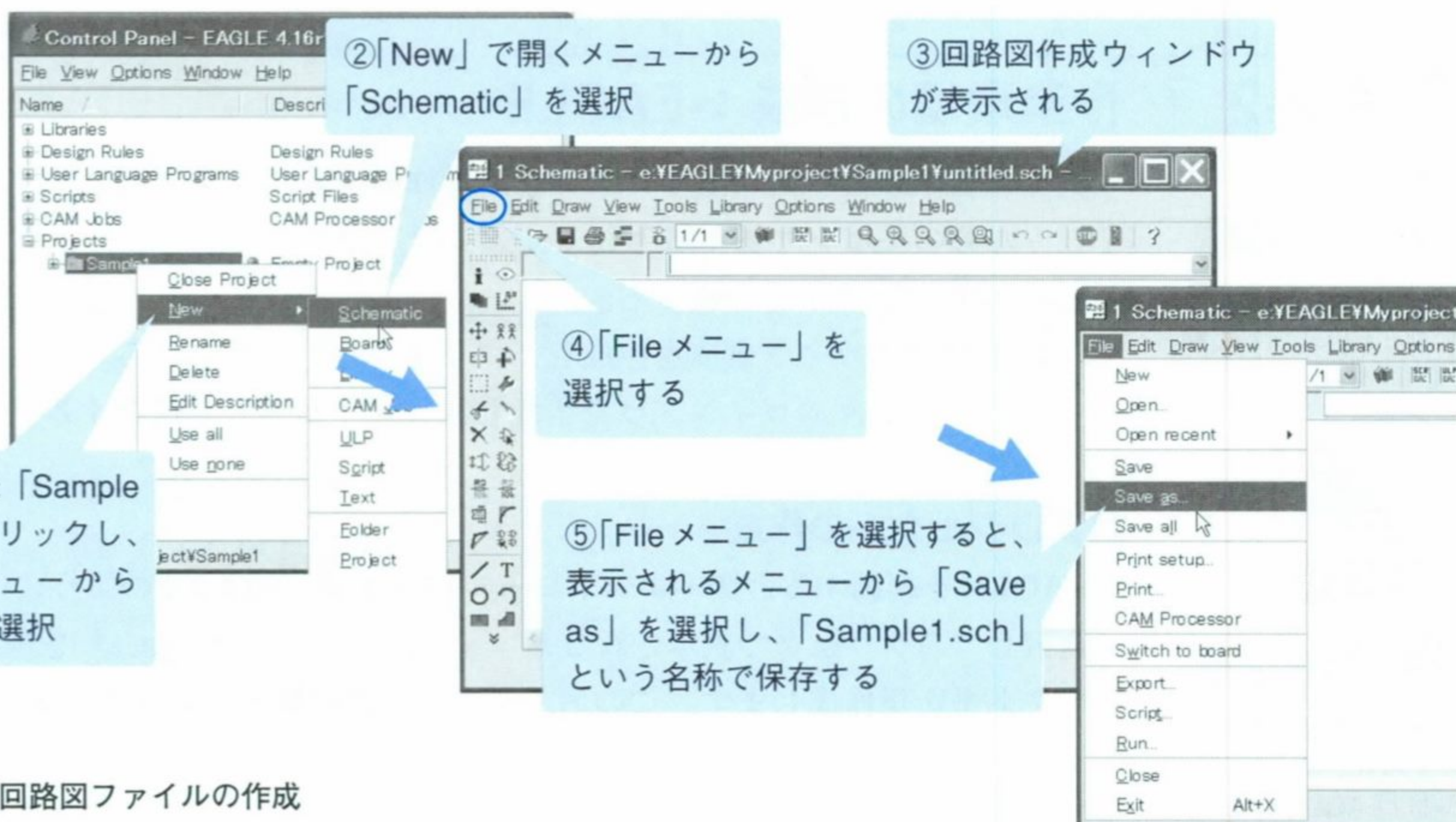
アドバイス
「Schematic」を選択し、回路図を作成します。

①作成した「Sample1」を右クリックし、開くメニューから「New」を選択

②「New」で開くメニューから「Schematic」を選択

③回路図作成ウィンドウが表示される

④「File メニュー」を選択する

⑤「File メニュー」を選択すると、表示されるメニューから「Save as」を選択し、「Sample1.sch」という名称で保存する

◆図4.2.2 回路図ファイルの作成

アドバイス

回路図ファイルを作成（設定）した後、回路図を描く前に、パターン図ファイルも作成（設定）しておきます。

参考

・Boardアイコン〔Board〕

■パターン図のファイルの作成

回路図ファイルを作成したら続いてパターン図ファイルも作成しておきます。

図4.2.3のように、回路図のメニューバーの中の〔 Boardアイコン〕をクリックすると「新規作成するか」という＜Warningダイアログ＞が表示されますので、ここで『Yes』とすればパターン描画用の画面が開きます。基板の外形図だけがデフォルト状態で描画されています。このままの状態で、回路図と同じように『File → Save as…』で「Sample1.brd」としてすぐ保存してしまいます。

・メニューバーが表示されない場合

〔 情報アイコン〕を右クリックし、「Actions」を選択してください。コマンドボタンは「Command buttons」で消去、メニューバーの「View」を右クリックし、「Command buttons」で復活します。

1 Schematic - E:¥Eagle¥Myproject¥Sa
File Edit Draw View Tools Library Options W
0.1 inch (7.3 -0.4)
Board

①「Boardアイコン」を押すと、「Warningダイアログ」が表示される

Warning
The board E:¥Eagle¥Myproject¥Sample1¥Sample1.brd does not exist.
Create from schematic?
Yes No

②新規作成なのでここで「Yes」とする

③パターン図作成用のエディタウィンドウが表示される

2 Board - E:¥Eagle¥Myproject¥Sample1¥Sample1.brd - EAGL...
File Edit Draw View Tools Library Options Window Help

④設定してある基盤の外形図が表示される

⑤「File → Save as」でファイル名を設定して保存する

2 Board - E:¥Eagle¥Myproject¥Samp
File Edit Draw View Tools Library Options
New
Open...
Open recent
Save
Save as...
Save all
Print setup...
Print...
CAM Processor
Switch to schematic
Export...
Script...
Run...
Close
Exit Alt+X

◆図4.2.3　パターン図ファイルの作成

アドバイス

回路図を作成するとき、パターン図も一緒に表示させておかないと反映されません。

これで作業を行う環境の準備ができました。この回路図とパターン図の描画ウィンドウは互いに連携して動作し、回路図を描けば自動的にパターン図の方にも反映されます。

参考

各描画ウィンドウの左横のツールボックスを利用して作業します。

■描画用のツールボックス（コマンドボタン）

回路図、パターン図の描画ウィンドウの左端には、それぞれの描画用のツールバーがあります。これらを使って作図をしていきますが、それぞれの機能は図4.2.4のようになっています。パターン図で説明がないものは回路図と同じ機能です。

(a)回路図用ツールバー

グリッドの単位、サイズ設定
情報表示
指定ネットの表示
レイヤの選択
マーク設定
部品、グループの移動
部品、グループのコピー
部品、グループの左右反転
部品、グループの回転
グループ選択
レイヤ、線幅など各種設定の変更
カット(&ペースト)
ペースト
削除
部品選択
ピンの入れ替え
複合部品入れ替え
部品番号の設定
部品の値設定
部品番号、値の独立化
角の形変更
配線の途中曲げ
複合部品の選択指定
配線、直線描画
テキスト描画
円描画
円弧の描画
四角描画
多角形の描画
バス描画
ネットの描画
ジャンクション描画
ネットに名称追加
ERC

(b)パターン図用ツールバー

部品の表裏反転
パッケージの変更
パターンの角の形変更
余分な節点の削除
パターン描画
ラッツネストへ戻す
ベタアースの表示解除
層間接続ビア配置
信号線接続
ドリル穴配置
ラッツネスト数表示
ベタアースの表示
オートルータ実行
ERC
DRC
エラー表示

◆図4.2.4 ツールバーの機能(コマンドボタン)

4-2-3 回路図の作成：EAGLE

工作するもののアイデアをいろいろ巡らし、作り方を決めたら、次は部品を探します。部品を探すのには前述のように部品メーカのウェブサイトをみつけ、データシートで確認しながら行います。こうして使う部品が決まったらいよいよ製作開始となります。

製作開始にあたって最初に作成しなければならないのが回路図です。EAGLEを使って回路図を作成する手順は、通常下記のようになります。

① 回路図に部品ライブラリから必要な部品を選んで配置する。
② 配置した部品の向きを回転し、移動させて位置を整える。
③ 部品間の配線をする。必要なら部品の回転、移動を行う。
④ ジャンクションを交差点に配置する。
⑤ 部品の値を設定する。
⑥ 回路接続の正常性のチェックをする(ERC)。

この手順を実際に動かしながら説明していきます。回路図描画は前述で作成した回路図ファイルを開いて行います。途中で保存もできますし、いつでも再開できます。

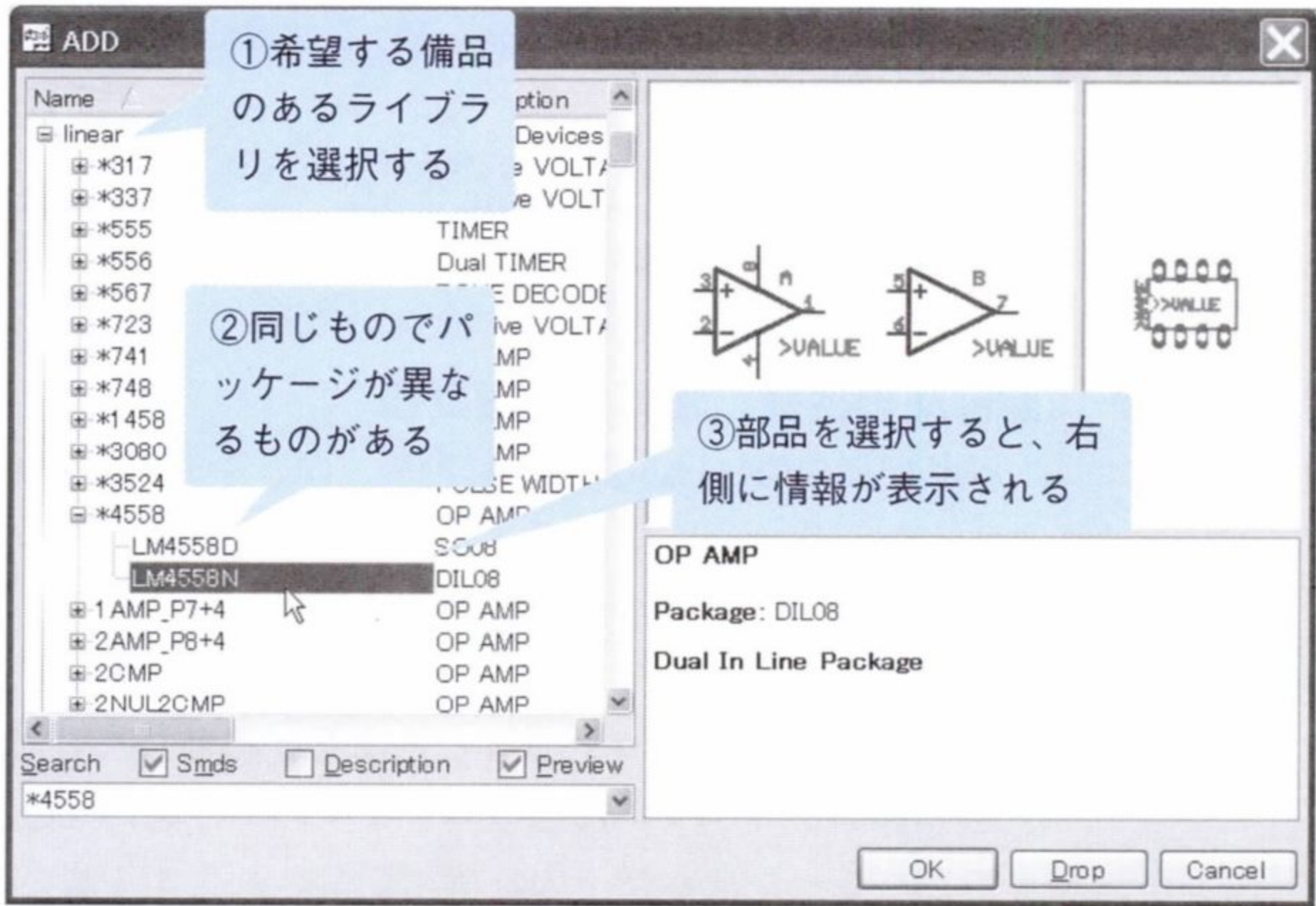
■部品の配置

回路図に部品を選択し配置するには、〔部品選択アイコン〕をクリックします。これで図4.2.5の部品選択のダイアログが表示されますので、ここでまず左側の窓で部品が含まれているライブラリファイルを選択します。ライブラリファイルにない部品は新規登録する必要があります。

部品名称を選択すると右側の窓に部品の回路シンボルとパターン図のシンボルが表示されます。これで確認をしたら部品名をダブルクリックして選択してから回路図描画ウィンドウにマウスカーソルを移動します。これで指定した部品の貼り付け配置ができるようになります。

参考
・部品選択アイコン〔ADD〕

◆図4.2.5　部品の選択

回路図描画ウィンドウではマウスの左クリックをすれば、カーソルのある位置に部品が貼りつきます。クリックする都度同じ部品が追加されていきます。オペアンプのように複数回路が含まれている部品の場合はクリックする順に配置されていきます。その部品配置を終了させるには「ESCキー」を押します。これでまた図4.2.5の部品選択に戻りますので別の部品を選択します。このようにして必要な部品を配置した結果は図4.2.6のようになります。部品の追加はいつの時点でも可能ですので、回路を作成しながら必要な部品を配置していくことができます。

参考
・終了方法
「ESCキー」

注意
図4.2.6に配置した抵抗器は、EAGLEにデフォルトで装備されているものではありません。筆者が作成し、ユーザライブラリに登録したものです。
これらの方法は、インターネットなどで調べてください。

◆図4.2.6 部品を配置したところ

■部品の移動、回転、左右反転

部品配置の際には、部品を移動し、向きや上下を変更したいことがあります。このようなときは、〔移動アイコン〕や、〔回転アイコン〕と〔左右反転アイコン〕を組み合わせて自由にできます。

・移動（Move）

〔移動アイコン〕を押したあと、移動したい部品をマウスで左クリックすると部品がカーソルに貼りつきますので、動かしたい位置まで移動してから再度左クリックすればその位置に配置されます。またカーソルに貼りついているときに、右クリックする度に右に90°ずつ回転します。終了は「ESCキー」を押します。

・回転（Rotate）

〔回転アイコン〕をクリックしてから、回転させたい部品をクリックすると左へ90度回転します。クリックするごとに90度ずつ回転します。終了は「ESCキー」を押します。

・左右反転（Mirror）

〔左右反転アイコン〕を押してから対象部品をクリックすると、センターマークを中心にして左右が反転します。

上下を反転させたいときは、〔回転アイコン〕で90度回転させてから、左右反転させ、再度回転で270度回転させれば上下反転させたことになります。

参考

・移動アイコン〔Move〕

・回転アイコン〔Rotate〕

・左右反転アイコン〔Mirror〕

■部品の値の設定

抵抗、コンデンサなど各部品の値を設定する必要があります。これには、〔値設定（Value）アイコン〕を使います。また部品に付く部品番号は自動的に採番されて配置した順に付けられていきますが、あとからでも〔部品番号設定（Name）アイコン〕で変更ができます。さらに、部品番号や値の表示位置だけを移動させたい場合には、〔独立化（Smash）アイコン〕を使います。

参考

・値設定アイコン〔Value〕

・部品番号設定アイコン〔Name〕

・独立化アイコン〔Smash〕

・値設定（Value）

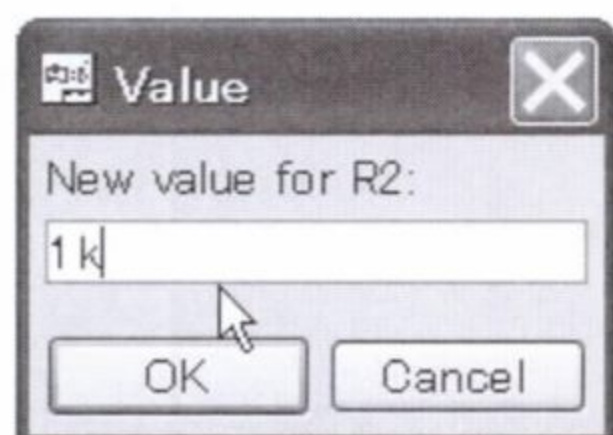
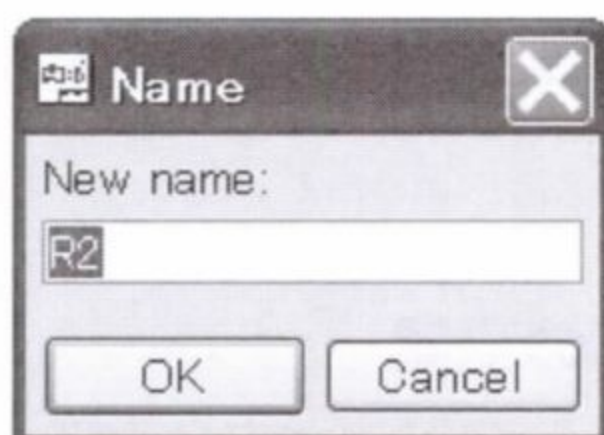
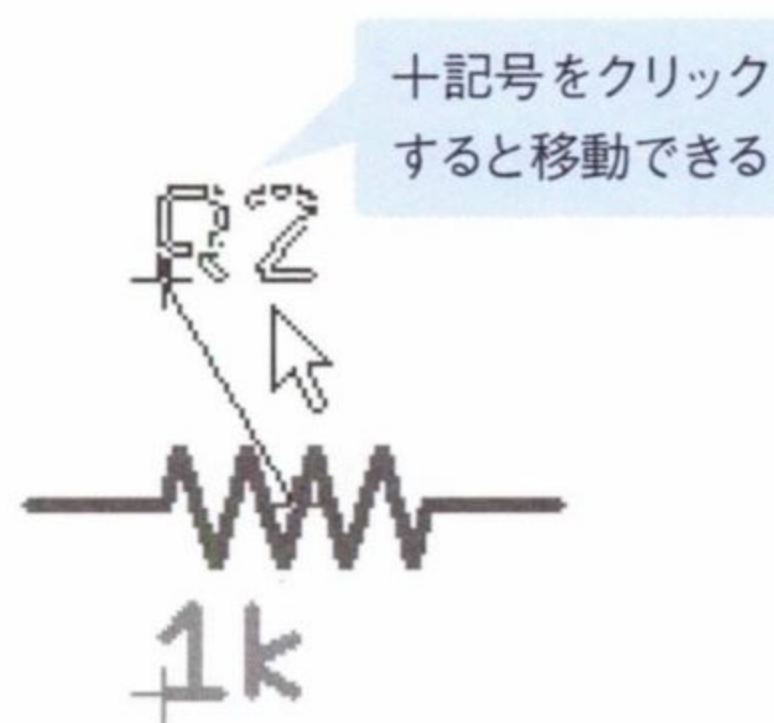
〔値設定アイコン〕をクリックしてから対象部品をクリックすると図4.2.7(a)のようなダイアログが開きますので、ここで値を入力します。

・部品番号設定（Name）

〔部品番号設定アイコン〕をクリックしてから対象部品をクリックすると図4.2.7(b)のようなダイアログが開きますので、ここで部品番号の変更ができます。

・部品番号、値の位置の移動

〔独立化（Smash）アイコン〕をクリックしてから対象部品をクリックすると、図4.2.7(c)のように、部品番号と値に＋記号が追加されます。このあと〔移動アイコン〕をクリックしてから、＋記号をクリックするとカーソルに記号が貼りつきますのでその記号だけ移動させることができます。移動先で再度クリックすればそこに配置されます。

(a)部品の値の設定ダイアログ

(b)部品番号の設定ダイアログ

(c)部品番号、値の位置移動

◆図4.2.7　部品記号、値の設定と位置の移動

参考

・配線アイコン〔Wire〕

・削除アイコン

・配線の途中曲げ

・Undo
元に戻すには、メニューバー「Edit」→「Undo」をクリックします。

■配線

部品の配置、設定が終わったら次に部品間の配線をします。配線には、〔配線、直線描画（Wire）〕アイコンを使います。

・配線（Wire）

〔配線（Wire）アイコン〕をクリックすると配線モードに入ります。まず配線を接続する部品のピンで左クリックすると端点が接続され、配線が開始されます。次に接続先までマウスカーソルを移動して相手の部品のピンで左クリックすればそこに接続されます。続ける場合にはさらにそのまま次の接続先でまたクリックします。

配線を次の接続で終了させる場合にはピン上でダブルクリックします。これで配線はいったん終了しますので、次の配線開始点で左クリックすれば、次の配線が始まります。

配線を途中で曲げる場合には、曲げる場所でクリックすればそこまでの配線が固定され、次の場所への配線が続きます。曲げは基本的に直角となります。

配線をしているときに部品の移動や回転はいつでもできますので、できるだけ配線を曲げることなく直線で接続できるようにして回路図がすっきりするようにします。

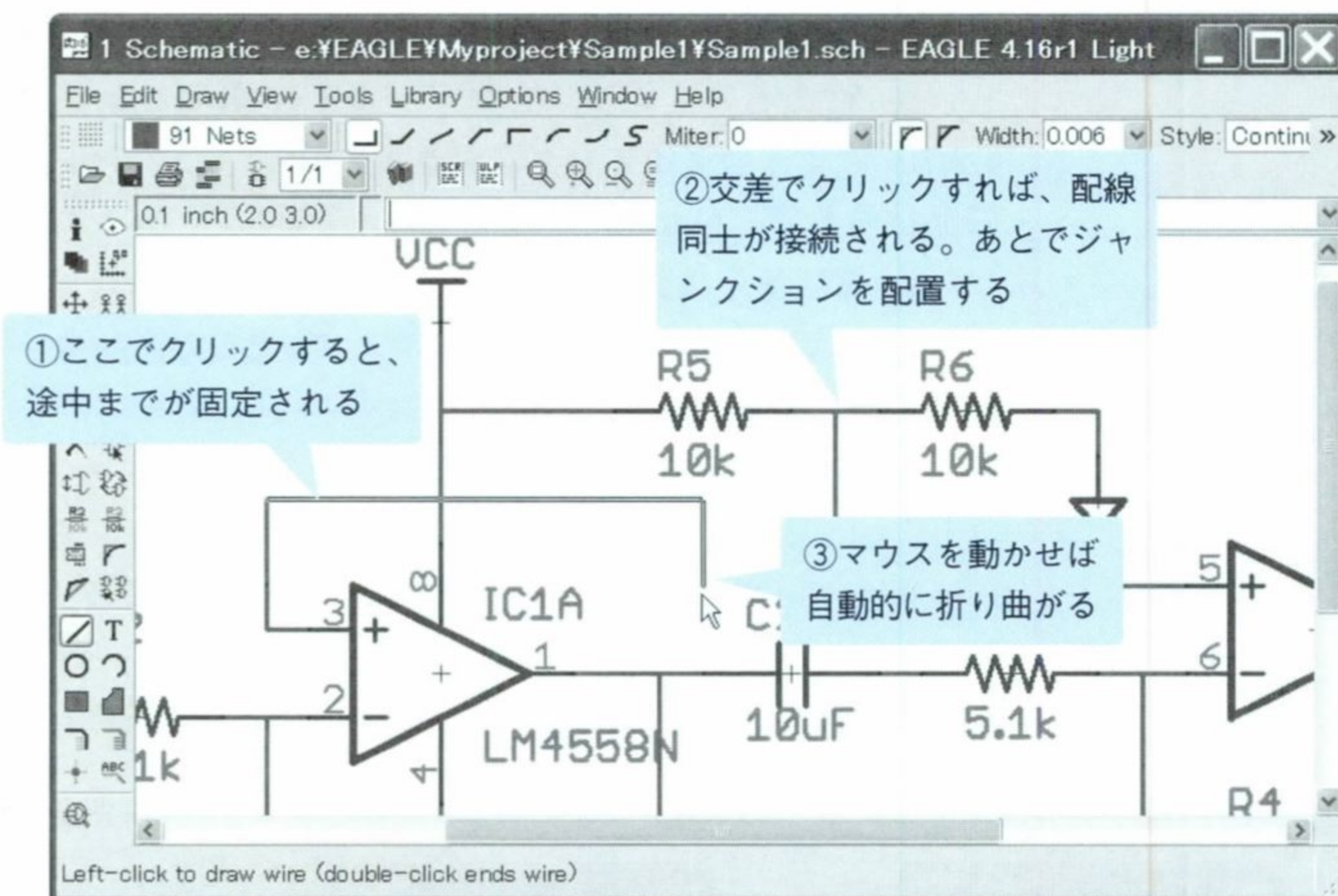
配線途中の状態が図4.2.8となります。

1 Schematic - e:¥EAGLE¥Myproject¥Sample1¥Sample1.sch - EAGLE 4.16r1 Light

①ここでクリックすると、途中までが固定される

②交差でクリックすれば、配線同士が接続される。あとでジャンクションを配置する

③マウスを動かせば自動的に折り曲がる

Left-click to draw wire (double-click ends wire)

◆図4.2.8　配線中の図

■ジャンクションの配置

参考

・ジャンクション描画アイコン〔Junction〕

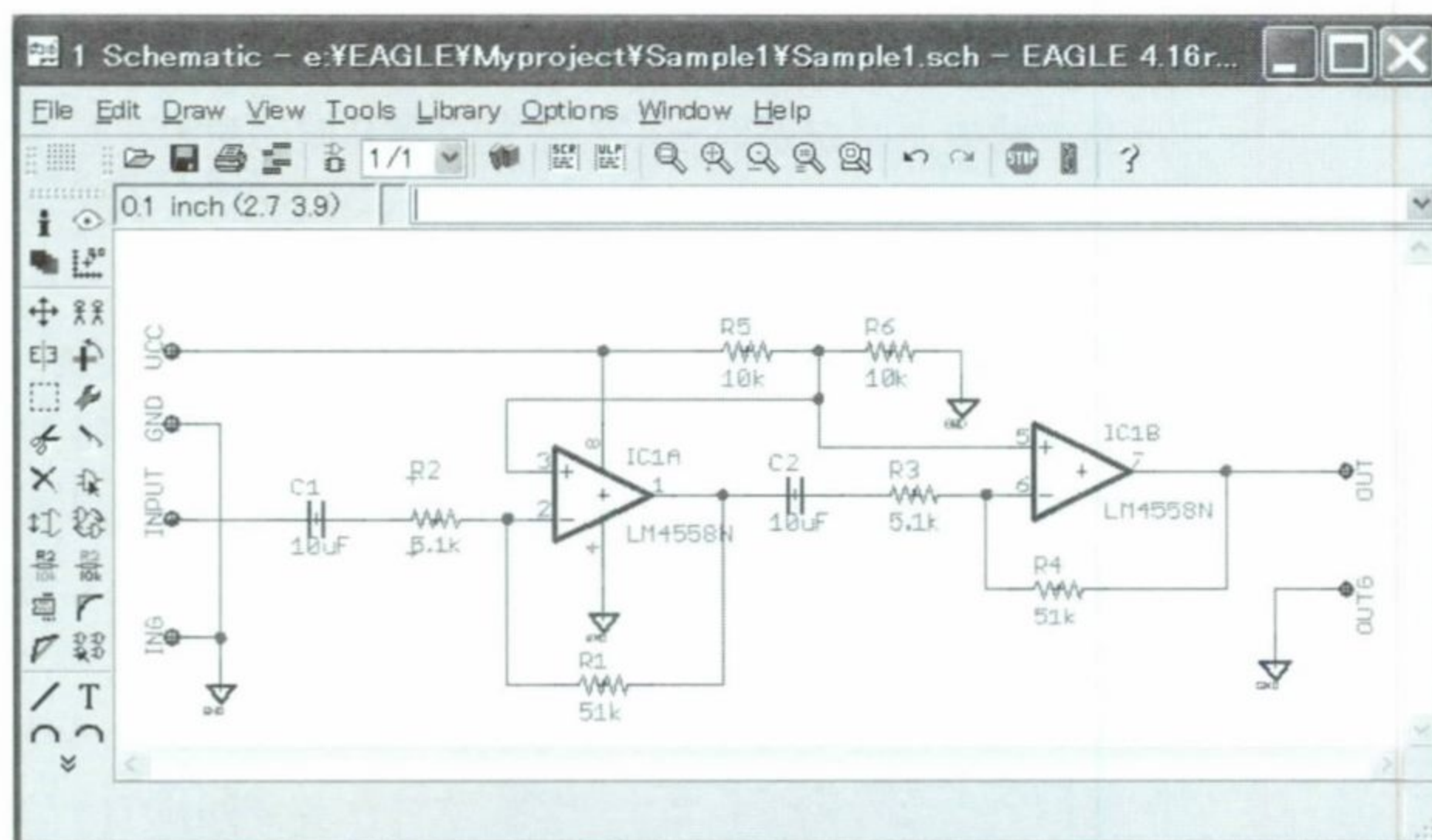
配線が終わったら、配線の交点に丸印のジャンクションを配置します。これで回路図が紛らわしくなくなりますので見やすくなります。

〔ジャンクション描画アイコン〕をクリックしてから、配置したい場所でクリックするだけです。図4.2.9が電源とグランド用の端子を追加して配線が終了したところです。

アドバイス

描画、配線が終了したら、ファイルを保存します。

途中で保存すると、万一のときにも元の状態に戻せますから、こまめに保存しましょう。

1 Schematic - e:¥EAGLE¥Myproject¥Sample1¥Sample1.sch - EAGLE 4.16r...

◆図4.2.9　配線完了

■エラーチェック（ERC）

このあとメインメニューから『Tool → ERC』でエラーチェックを行うと、回路図上のエラーがメッセージで表示されますが、まだパターン図を作成していないので、あとで行うこととします。

4-2-4 パターン図の作成：EAGLE

用語解説
・パターン図
プリント基板を製作する際に利用するもの。部品をプリント基板に取り付け、配線するためのパターン。

回路図が描き終わったら続いてパターン図を作成します。パターン図の作成手順は通常は下記のようにします。

①パターン図を作成し表示させる。
②部品を移動、回転させて配置する。
③配線を行う（自動と手動ができる）。
④パターンの幅、位置の設定変更。
⑤部品記号、値の位置を修正する。
⑥ベタアースを作成する。
⑦パターン図の印刷。

アドバイス
ここでは、先ほど描画した回路図を、パターン図にします。

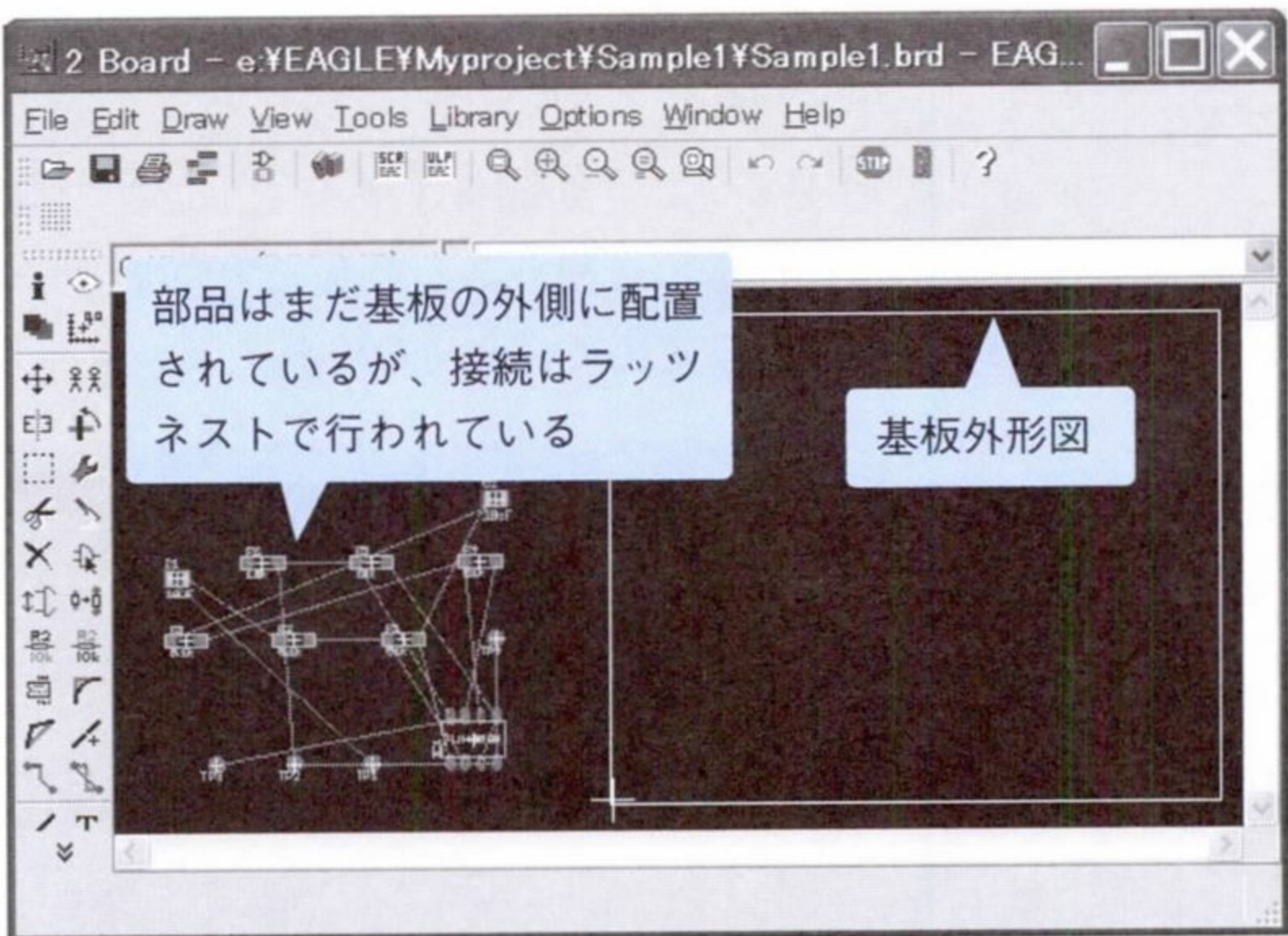
■パターン図の作成

参考
・Boardアイコン〔Board〕

パターン図描画ウィンドウを最初に作成し開いておくと、回路図を描いたときに自動的にパターン図にも部品が登録されていますので、そのままパターン図作成に移ることができます。

パターン図が未作成の場合には、回路図のメインメニューの下欄にある〔Boardアイコン〕をクリックすると図4.2.10のようなパターン図が自動的に表示されます。この状態では各部品はまだ基板の外側に置かれていますが、互いの配線はラッツネストで接続されています。

用語解説
・ラッツネスト
パターン配線。EAGLEのパターン図画面では、黄色の線で表示される。

このとき白い枠（基板の外形図）だけしか表示されないとき、または全ての回路が反映されていないときは、回路図作成の間に画面を閉じていたため回路図が反映されなかったことによります。そこで、パターン図画面をいったん閉じ、コントロールパネルでBRDという拡張子のファイルを削除します。その後回路図で再度〔Boardアイコン〕をクリックすれば図4.2.10のように表示されます。

◆図4.2.10　パターン図

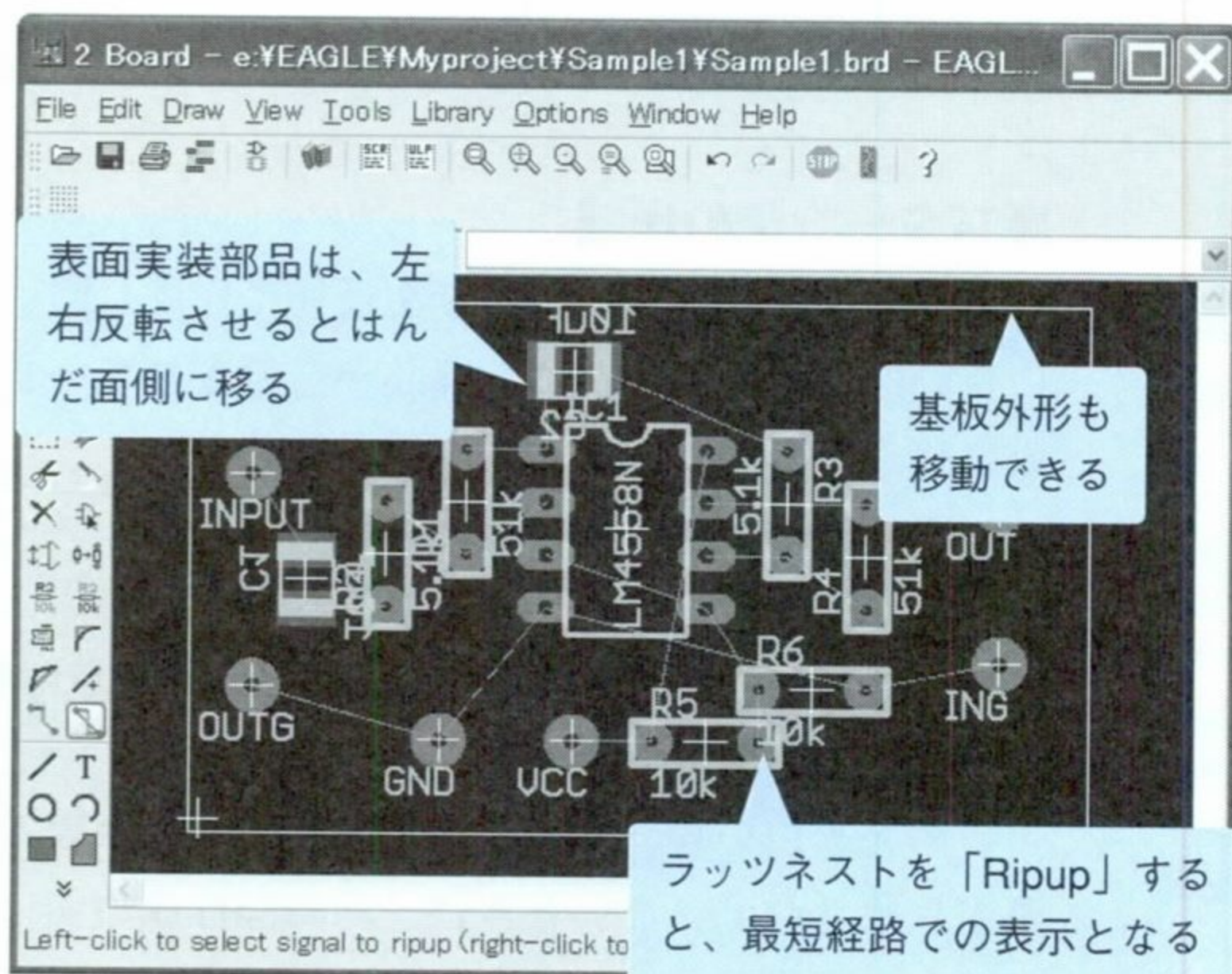
(2) 部品の配置

基板の外側にある部品を基板の中に配置します。〔移動（Move）アイコン〕

をクリックしてから部品をクリックすれば移動できます。配置はいつでも変更できますから、まず大体の位置に配置していきます。

配置が終わったら拡大表示してからパターンのルートが最適な位置になるように配置を調整します。このとき、移動や回転、左右反転をしながら行います。とくに片面基板の場合に表面実装の部品を配置するときは、反転させると基板配置の表裏が切り替わります。部品を移動するとラッツネストの順番が入り組みますから、ラッツネストへ戻す〔 (Ripup) アイコン〕をクリックしてから、対象のラッツネストをクリックすると、最短経路のラッツネストに再接続し直します。配置が完了したら、基板サイズの角を移動してサイズを変更し最適サイズにします。図4.2.11が配置を完了し基板サイズも変更したところです。

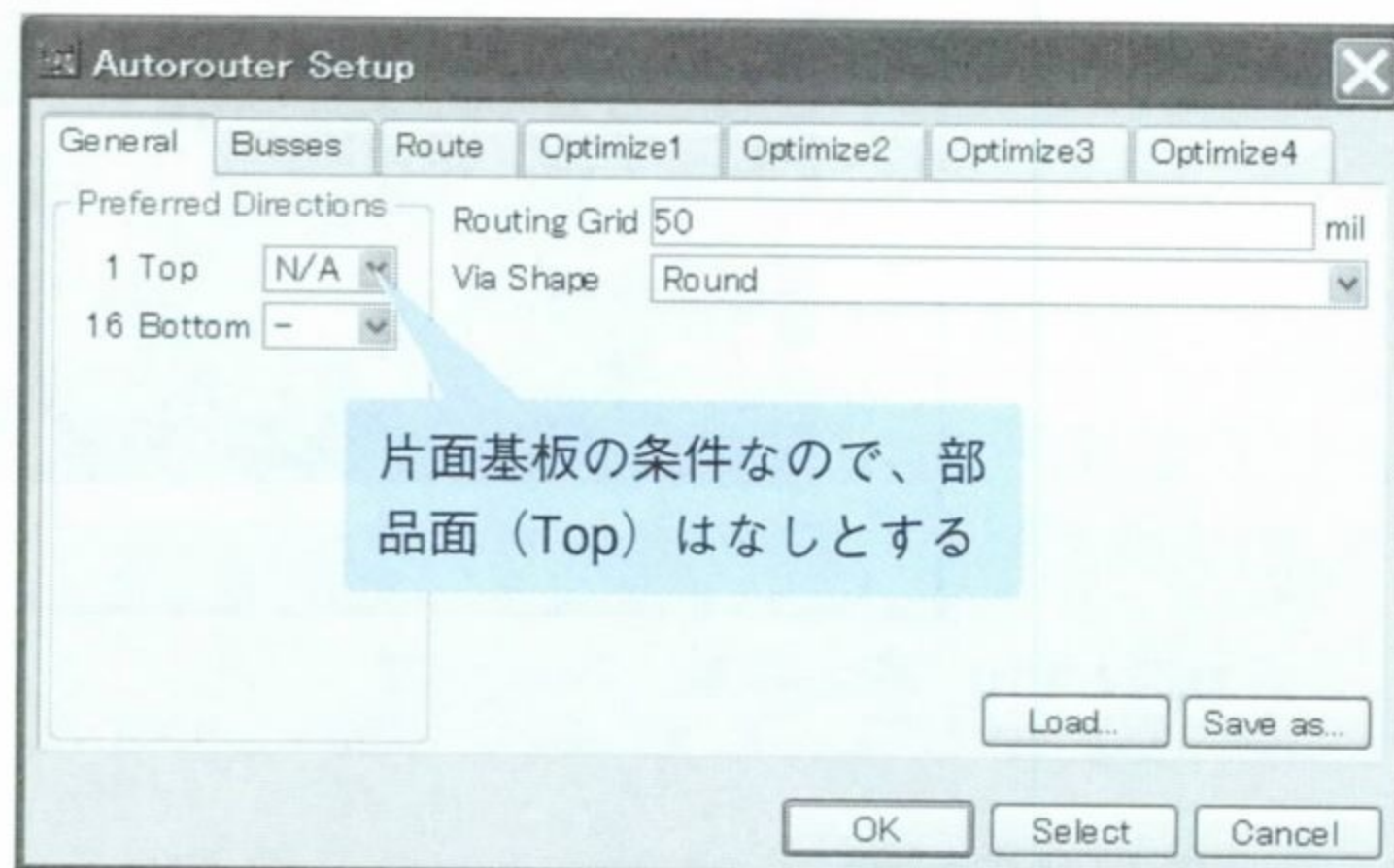
> 参考
> ・移動アイコン〔Move〕
>
> ・Ripupアイコン〔Ripup〕
> ラッツネストへ戻す。
> ベタアースの表示解除。

> アドバイス
> 全体のラッツネストを再描画させるには、メニュー下のコマンド入力欄に「ripup;」と入力してリターンすると、全体を再描画します。

◆図4.2.11　部品の配置を完了したところ

■パターン作成

いよいよラッツネストをパターンで描画していきます。まず、オートルータ機能を試してみます。〔 オートルータ実行 (Auto) アイコン〕をクリックすると図4.2.12のダイアログが開きますので、ここで自動配線する条件を設定します。

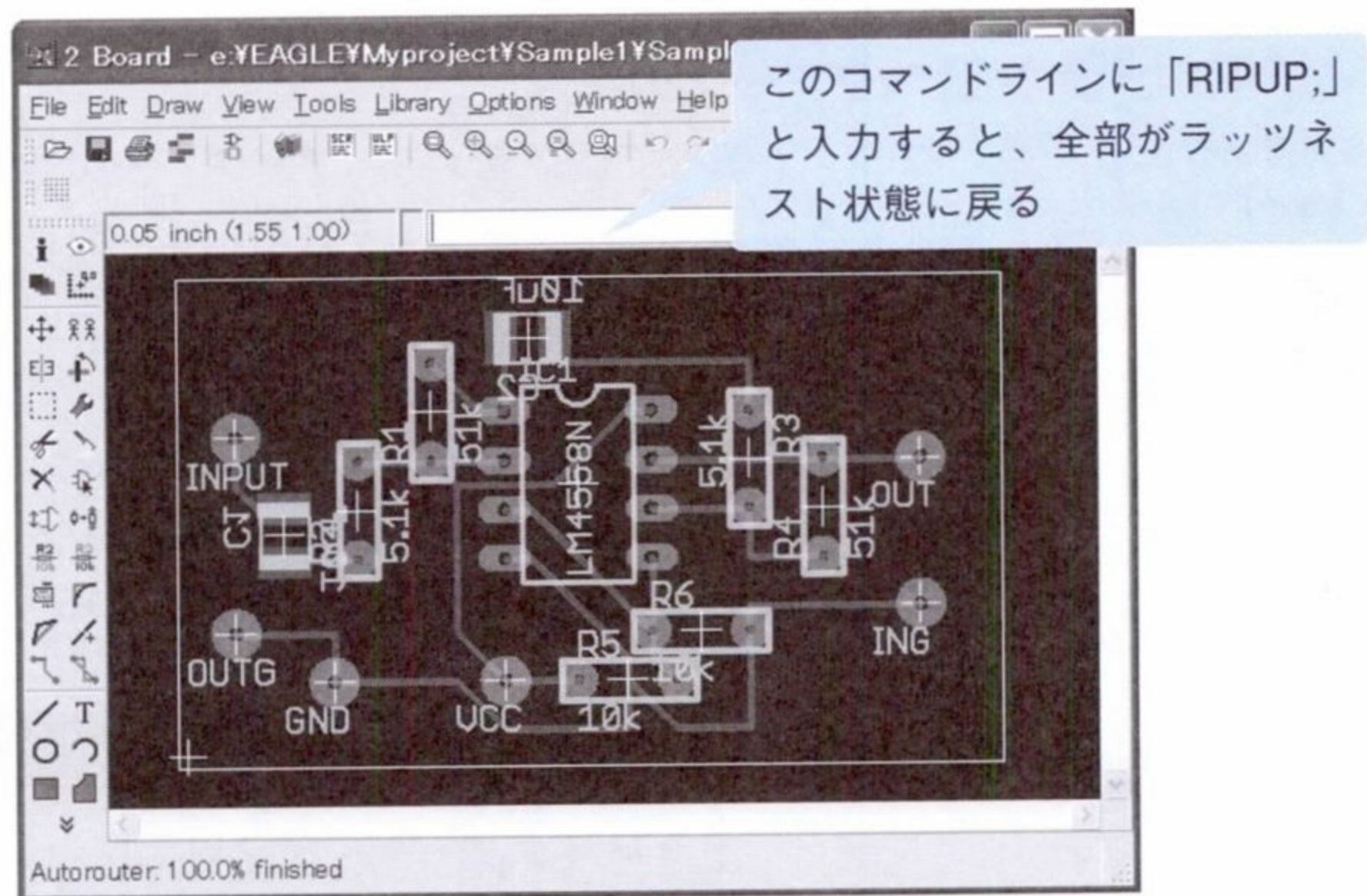
ここでは片面基板を使うこととしますので、図のように部品面側 (Top) は使わない (N/A) と設定してから「OKボタン」を押せば自動配線が実行されます。

> 参考
> ・オートルータ実行アイコン〔Auto〕

◆図4.2.12　自動配線の条件設定ダイアログ

今回は簡単な回路なので、何の問題もなく自動配線が100%完了しました。ここでパターンのルートができるだけ直線になるように、部品配置を再調整してから再度自動配線を実行します。このとき自動配線をもとのラッツネストに戻すには、コマンドライン行に「RIPUP;」と入力して実行します。このようにして自動配線を繰り返してできた結果が図4.2.13となります。

アドバイス

このとき、；（セミコロン）を忘れないようにしてください。

このコマンドラインに「RIPUP;」と入力すると、全部がラッツネスト状態に戻る

◆図4.2.13　自動配線の結果

■パターンの幅とルートの変更修正

自動配線で無事に100%完了しましたので、次はパターンの幅を変更して広げます。通常は0.032mm程度とし、電源やグランドはこれより幅広にします。この作業は個々のパターンについて行う必要があります。

〔設定変更アイコン〕を選択して線幅（Width）を選択してから線幅を指定したあと、対象のパターンをクリックすれば変更されます。曲がり方やルートを変更する場合には〔移動アイコン〕で行います。図4.2.14がパターンの個別変更を完了したところです。

ここでは、1本のパターンだけ部品面を通すこととしジャンパ接続に変更しています。変更は〔設定変更アイコン〕でレイヤを変更することで簡単にできます。

参考

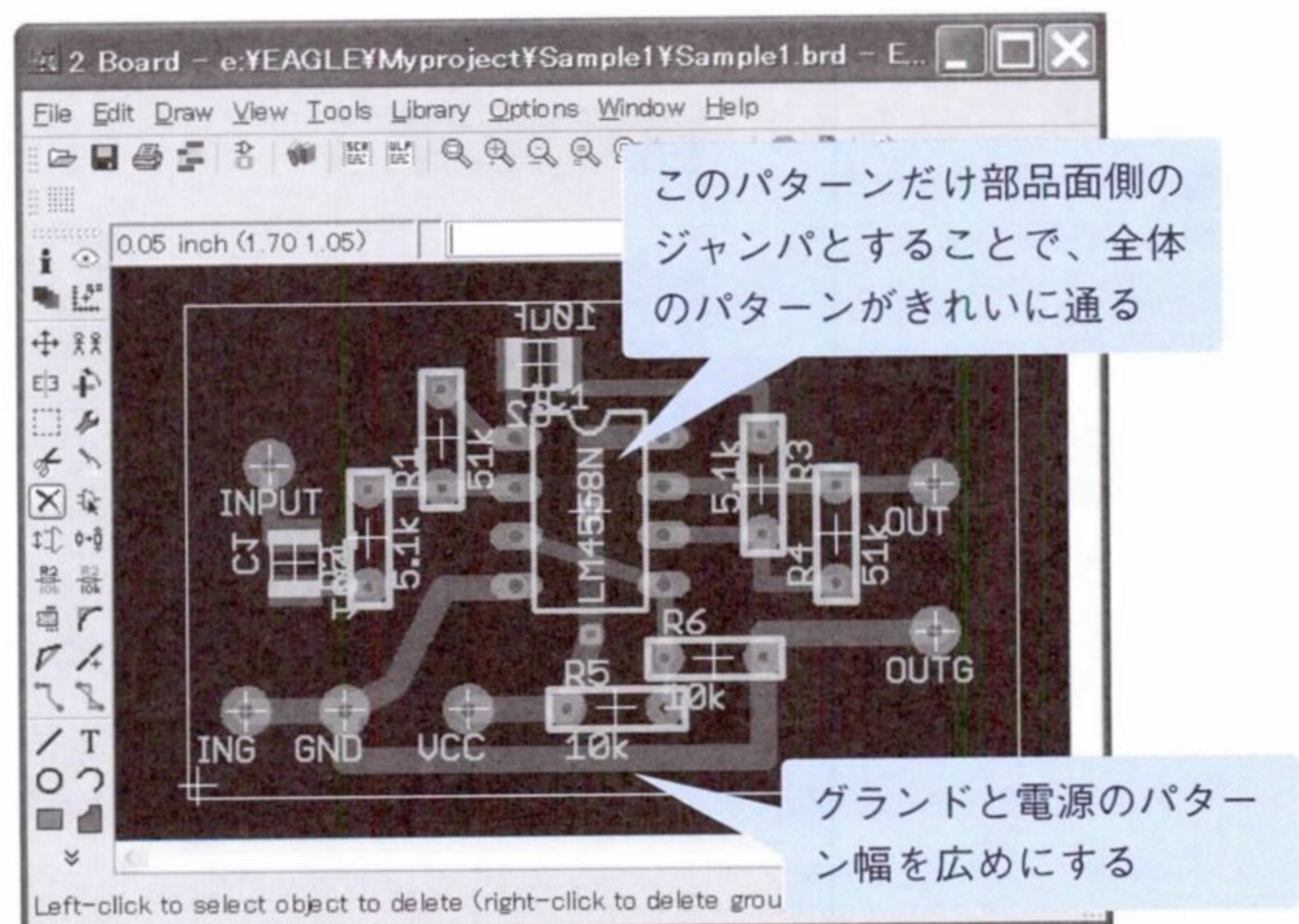
・設定変更アイコン〔Change〕

・移動アイコン〔Move〕

アドバイス

「Width」を選択し「0.032mm」に設定します。次に変更したい線上をクリックしてください（それぞれ行う）。

このパターンだけ部品面側のジャンパとすることで、全体のパターンがきれいに通る

グランドと電源のパターン幅を広めにする

◆図4.2.14　パターン変更を完了したところ

参考
・独立化アイコン〔Smash〕

■部品記号、値の位置修正

シルク印刷を行う場合には、部品記号や値が見やすい位置になるように修正する必要があります。修正には、部品記号、値の〔独立化アイコン〕をクリックしてから、部品の「＋記号」をクリックすれば部品記号と値が独立に動かせるようになりますので、これで移動、回転させます。

参考
・多角形アイコン〔Polygon〕
・名称アイコン〔Name〕

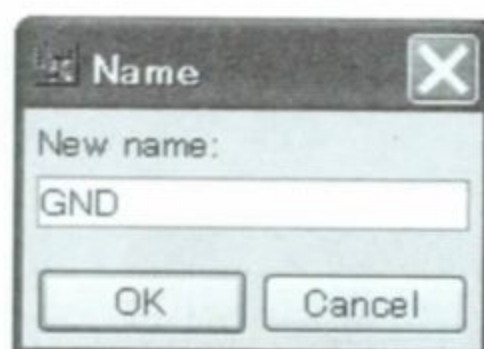
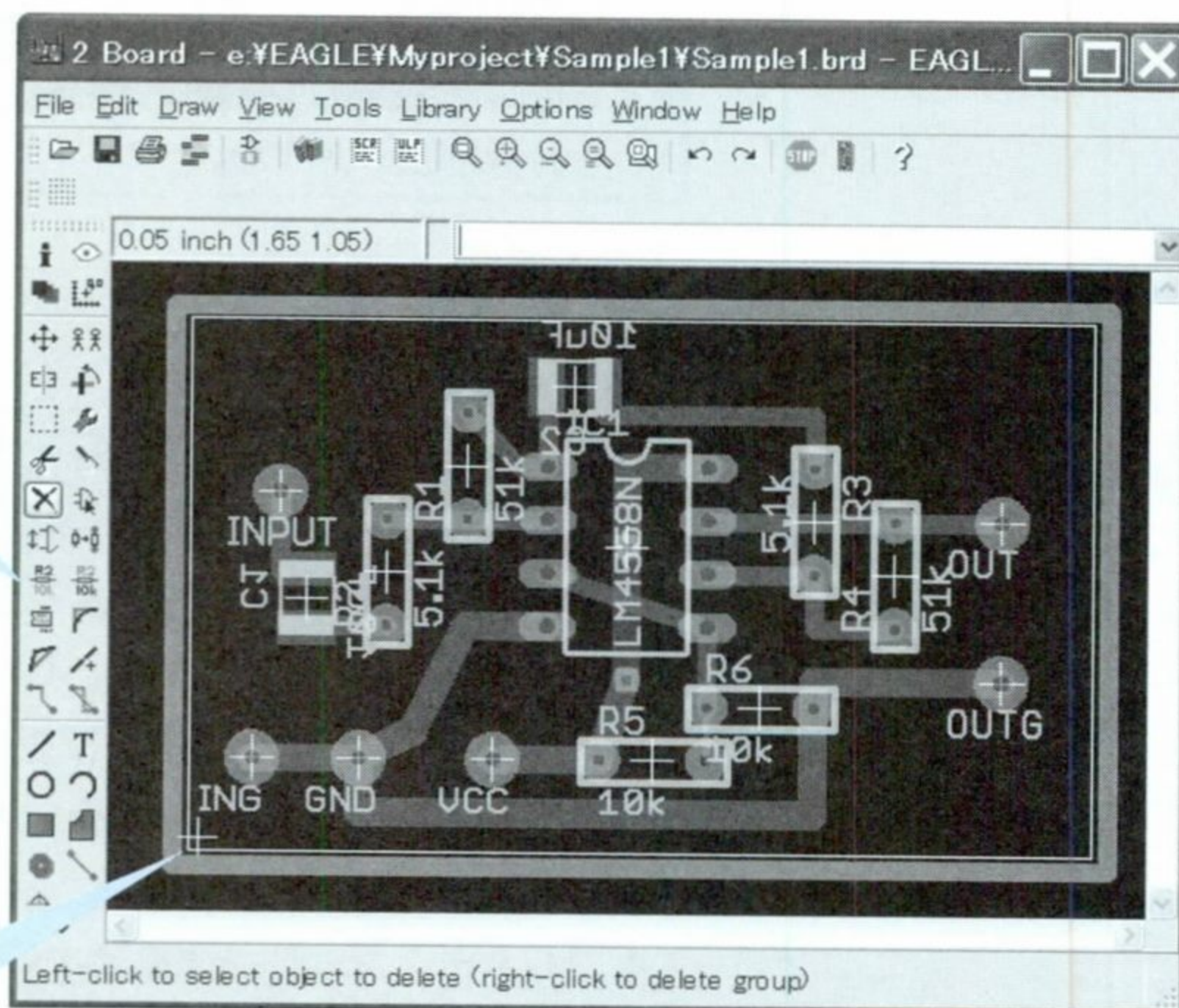
■ベタアースの作成

プリント基板ではグランド（アース）をできるだけ広くすることで回路が安定動作できるようになります。そこでパターンの余っている部分をすべてグランドパターンとしてベタ塗り状態にします。

これには、まず〔多角形アイコン〕をクリックしてから、基板のすぐ外側を囲むように四角形を描きます。次に図4.2.15のように〔部品番号名称（Name）アイコン〕をクリックし、画面上で左クリックするとウィンドウが表示されますから、多角形の名称を「GND」と入力します。

アドバイス
名称（Name）アイコンをクリックし、囲んだ線上をクリックします。

②「Nameアイコン」で、Polygonの名前をGNDとする

①Polygon描画で基板の周りを囲む

◆図4.2.15　ベタアースの作成

用語解説
・シルク印刷
プリント基板に電子部品の記号や値などを印刷すること。

参照
・グランドパターン
→ p.27

次にベタアースを実際に表示させるには、〔ベタアース表示アイコン〕をクリックすれば、図4.2.16のように実際のベタアースが表示されます。

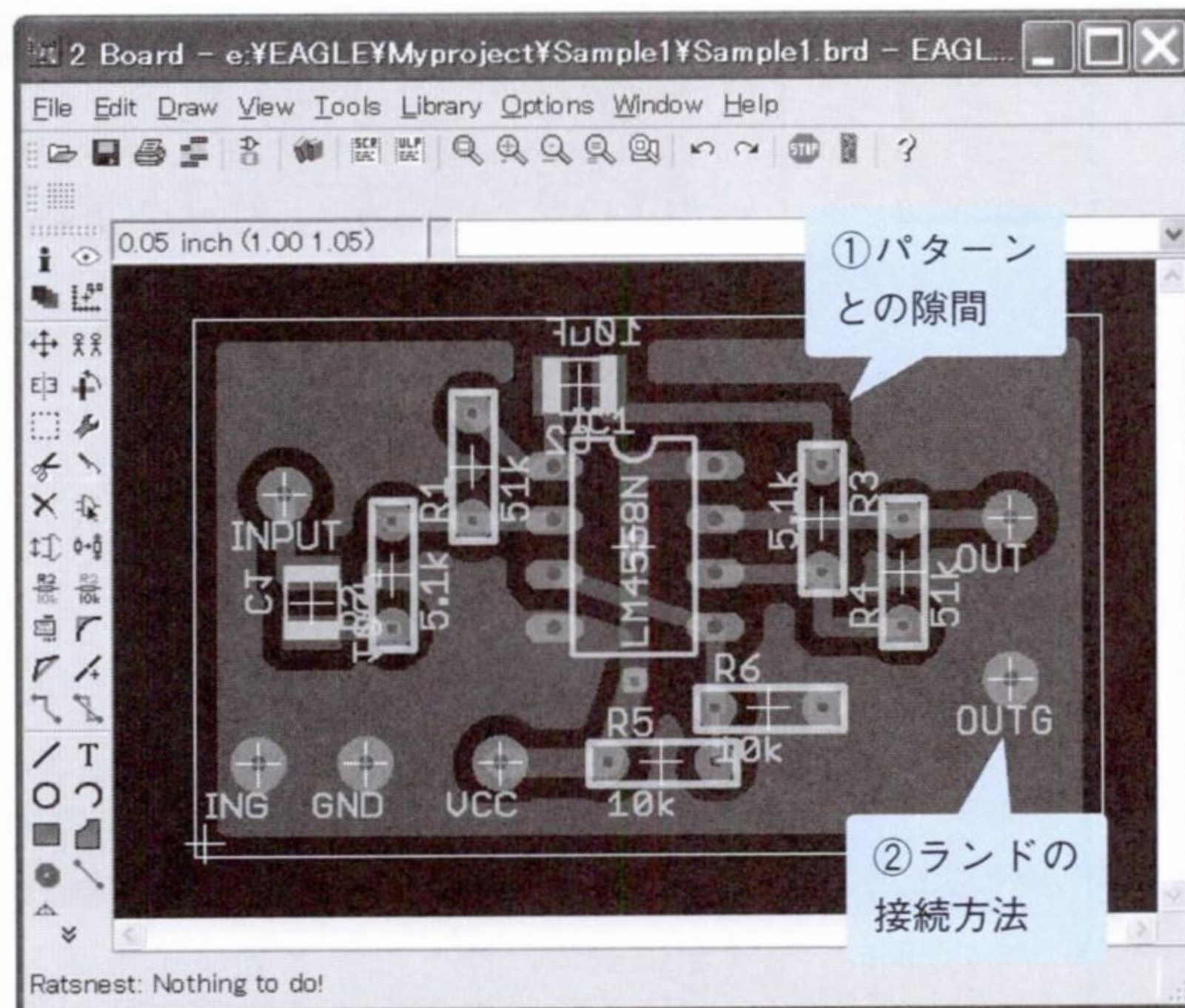
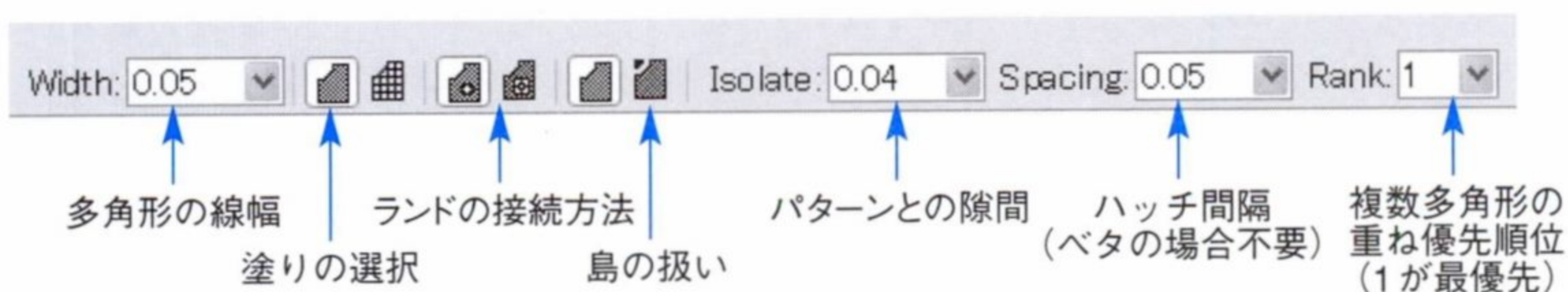
また表示を多角形状態に戻すには、ラッツネストへ戻す〔（Ripup）アイコン〕をクリックしてから基板の外側をクリックすることでできます。

このベタアースの多角形は任意の形でしかも複数描画が可能ですから、必要な

部分のみのベタアースとできますし、アースを分離したい場合には、複数の多角形を描画し、それぞれの名称を変えたグランドパターンとすれば複数のベタアースを描画することができます。

このベタアースの描画条件を設定することで、ベタアースとパターン間の隙間の寸法や、ベタアース内のランドとの接続方法を指定できます。図4.2.16のように多角形表示用のメニューアイコンで指定することで、ベタアースの描き方を変更できます。ただしこの変更は多角形を描く前に設定するか、描画済みの多角形をいったん削除して描画しなおさないと反映されません。

参考
・ベタアース表示アイコン
〔Ratsnest〕

・Ripupアイコン
〔Ripup〕
ラッツネストへ戻す。
ベタアースの表示解除。

◆図4.2.16　ベタアースの実際の表示と条件設定

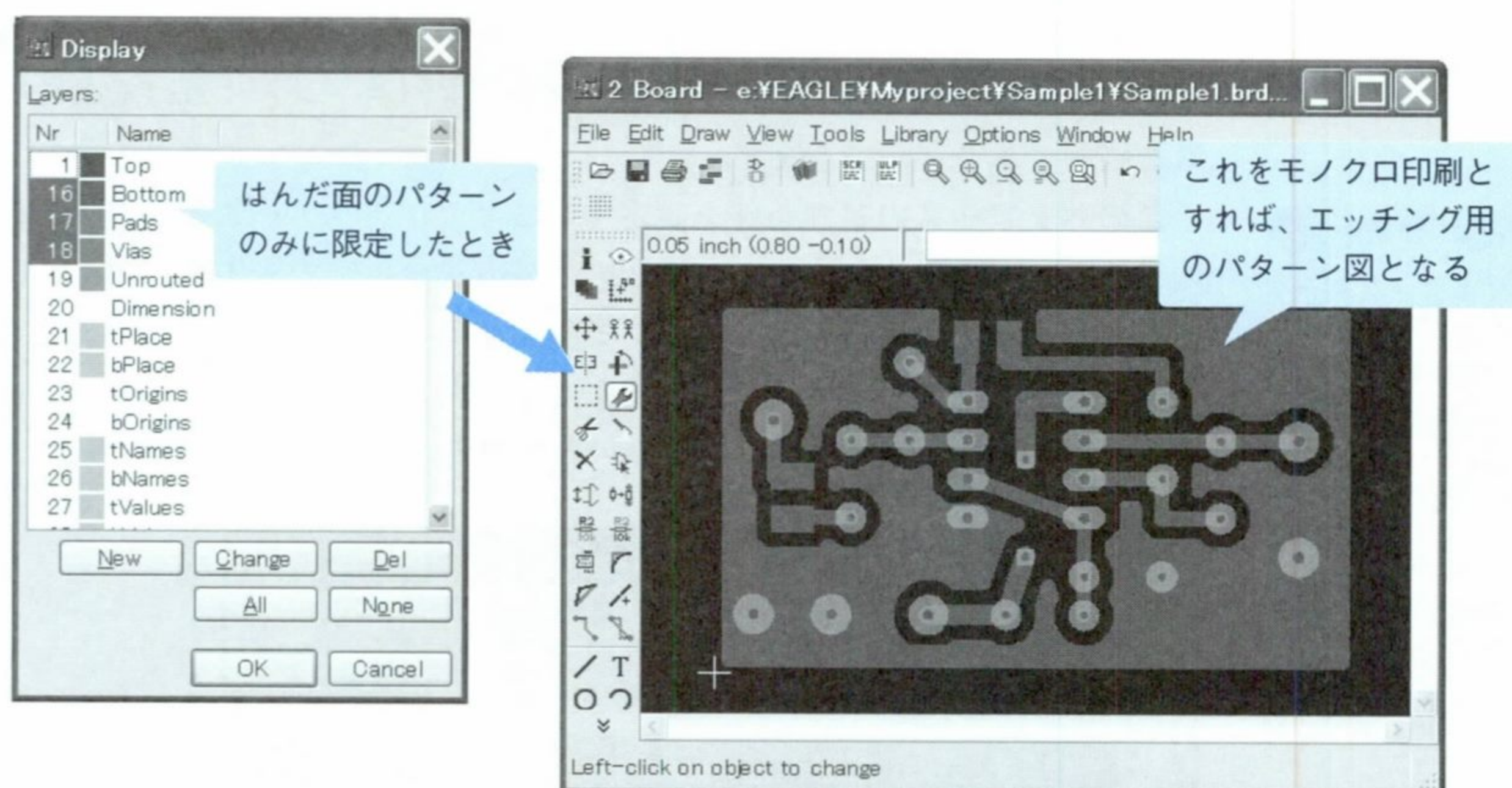
■印刷

パターン図の印刷の場合には、レイヤを選択して行わなければなりません。つまり片面ずつ印刷する必要がありますし、部品の外形図は不要です。

これらの設定は、メインメニューから、『View → Display/hide layer』で表示される図4.2.17のダイアログで表示するレイヤを指定することで行います。図の例ははんだ面のパターンだけの表示に限定したときのものです。

用語解説
・レイヤ
階層のこと。図を描くときに、外形、部品面、はんだ面などのように、図の内容を階層に分けて別々に描き、これらを重ね合わせることで1つの図とする。修正や変更が各々独立にできるので楽になる。

はんだ面のパターンのみに限定したとき

これをモノクロ印刷とすれば、エッチング用のパターン図となる

◆図4.2.17　表示レイヤの指定

あとはパターン図を**顔料系インク**のインクジェットプリンタで透明OHPフィルムに印刷すれば感光用のフィルムができあがります。

以上がEAGLEを使った基本の回路図、パターン図の作成手順ですが、EAGLEは自分専用のライブラリを作成できる機能が豊富に揃っています。また数多くのユーザが作成したライブラリも公開されていますので、それをベースにして自分が使いやすいライブラリを作成すれば、もっと効率よく楽しむことができます。

さらに**ガーバーファイル**というデータで基板作成を業者に発注することも可能ですので、多層基板でさえも個人で安価に自由に作ることができます。

用語解説

・ガーバーファイル
プリント基板の製作を自動化するための情報を数値で表示したガーバーデータのファイルのことで、このファイルで基板製作を発注できるよう規格化されている。

これらのさらに詳細な使い方は、下記のホームページで紹介されていますので、参照してください。

・**EAGLEによるプリントパターン自動作成**
http://www.hobby-elec.org/eagle.htm

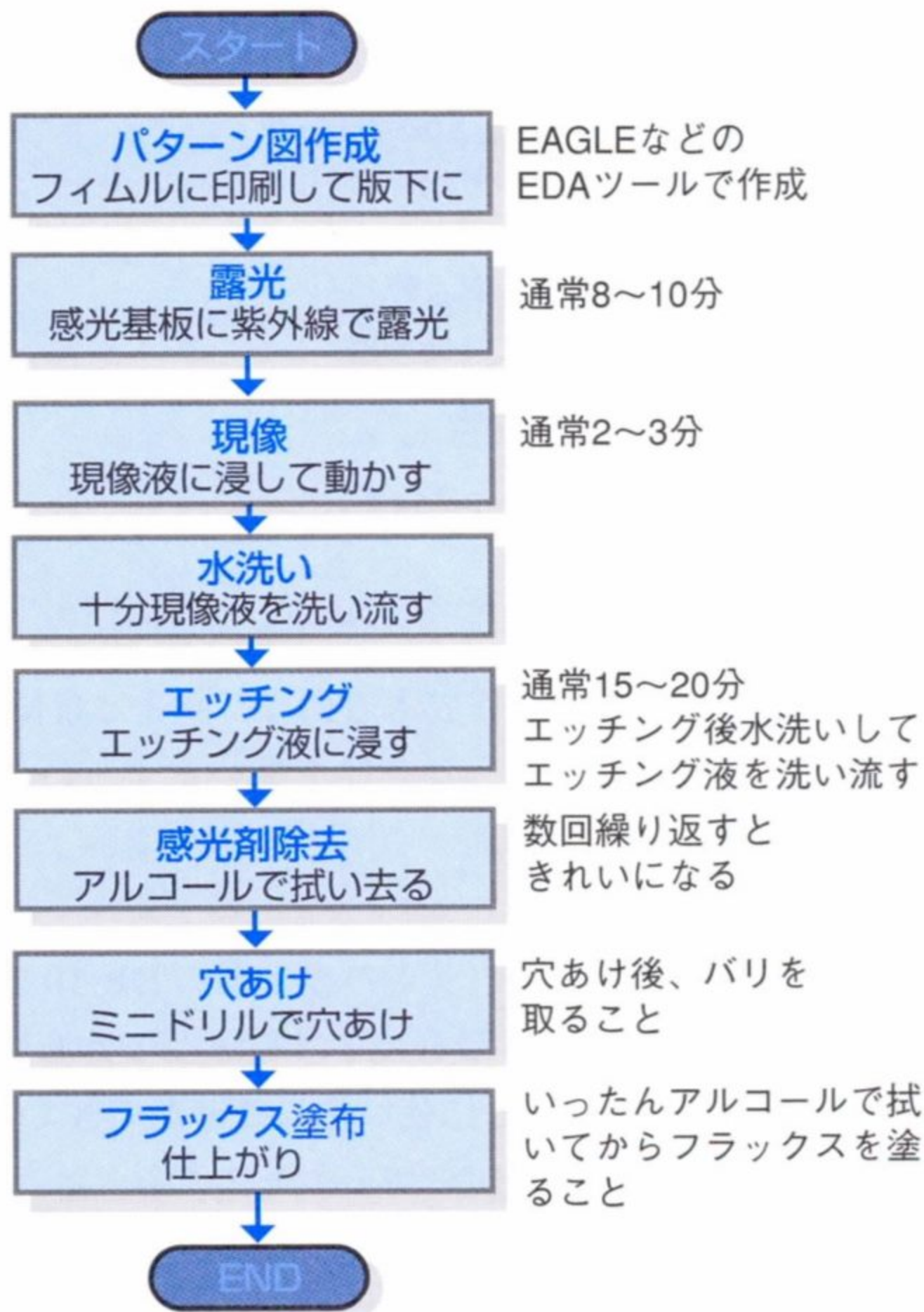
1 2 3 4 5

4-3 プリント基板の自作法

アドバイス
プリント基板は、電子部品を実装し、はんだ付する、配線用の基板です。
材料の種別によって、紙フェノール基板、紙エポキシ基板、ガラスエポキシ基板などがあります。
オリジナルの電子工作を行う場合は、回路図をもとにパターン図を作成し、図4.3.1の手順に従って製作します。

電子工作をはじめると、やがて自分でプリント基板を自作しもっと複雑な回路をもっときれいに作ってみたくなります。本章では**プリント基板**を自作するノウハウを説明していきます。

自作にはやはりできるだけ入手しやすい部品や、道具を使うように心がけましたので、一般のお店か通信販売で入手可能だと思います。

プリント基板をうまく自作するためには図4.3.1の手順で行います。ここではその手順に従って、実際の作り方を紹介していきます。

◆図4.3.1 プリント基板自作手順

4-3-1 用意するもの

アドバイス
ここで紹介するものは、プリント基板の製作で必要なものです。製作する前に準備しておいてください。

プリント基板の自作に必要なものを整理しました。これらの中には手持ちのもので代用できたり、自作キットとしてまとめて市販されていたりするものもあります。それぞれの状況に合わせて用意すれば問題ないでしょう。

■入れ物

- バット小 2個 : 現像液とエッチング液用別々に用意
- 広口ビン 1個 : エッチング液保存用（ポリ容器）

エッチング液は濃い黄色（茶色）の液体で、入れ物に色が付くと取れないので専用の入れ物を用意した方がよいでしょう。また保存用には金属ケースは化学反応してしまいますので使えません。広口ビンは東急ハンズなどで化学実験用器材として販売しています。

バットは現像用とエッチング用の2個必要。湯煎にするときは大型のバットも必要。

エッチング溶液の保存用に使う。金属製の容器は化学反応するので使えない

◆写真4.3.1　バットと広口ビン

■薬品類

プリント基板を作成するには、感光と現像、さらにはエッチングを行いますが、それぞれ下記のような薬品を使います。いずれも市販されていて容易に入手できます。

現像液：現像剤（サンハヤト製：DP-10またはDP-50）を指定された量のお湯に溶かし、35℃程度まで冷ましてから使う。DP-10は200ccのお湯で使えるので、1回ごとに使い切ることができて便利。また湿気を吸いやすいので開封したら早めに使い切るようにする。

エッチング液：サンハヤト製エッチング液が便利。何回か使えるので、使用後は広口ビンに保存しておく。衣服などに付くと取れないので気をつけること。塩化第二鉄なので、薬局で固形のものを購入することもできるが、取り寄せになるためサンハヤト製の方が便利。

アルコール：燃料用アルコールを薬局で購入する。基板に残った感光剤の除去や、基板そのものや手のクリーニングに使う。消毒用なら無水アルコールにする。通常の消毒用は純度が低いのできれいに仕上がらない。

フラックス：完成基板の酸化防止用で、これを塗布しておかないと銅箔面がすぐ酸化して汚くなってしまう。また酸化した状態でははんだ付けがうまくできなくなるので、フラックス塗布は必ず実行すること。

【現像剤】
200cc用で使い捨て

【エッチング溶液】
古くなったら処理してから廃棄

【アルコール】
燃料用がよい
感光剤除去用

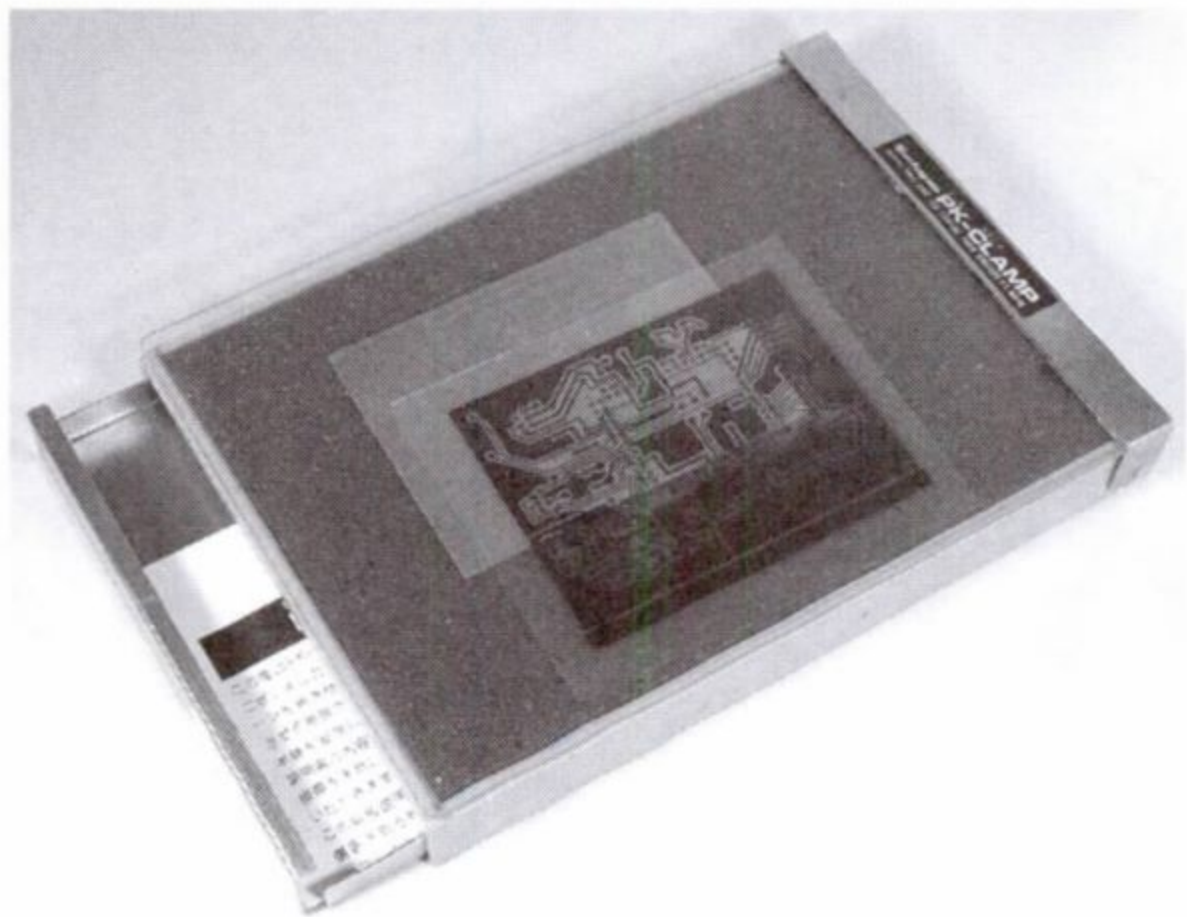
【フラックス】
基板酸化防止用

◆写真 4.3.2　薬品類

数回の試作用であれば、以上のものを1式セットにした自作キット（「プリント基板工作キット」）がサンハヤトより発売されていますので、これを入手するのが早道です。

■道具

プリント基板を作成するために、作業を楽に正確にできるようにいくつかの道具が必要となります。

クランプ：感光するときに、基板とパターン図を挟んで固定する道具。サンハヤト製「PK-CLAMP」が便利。単純にガラス板を上に置くだけでも大丈夫だが、仕上げの良し悪しは結構クランプに影響されるのでぜひ1台用意したい道具である。仕上げに影響するのは、パターン図と基板面の隙間の問題で、ぴったりと合わさっていないと細いパターンがエッチングのとき切れてしまう。

◆写真 4.3.3　クランプ

注意
「捕虫器用ケミカルランプ」を使用すること。「殺菌灯」は露光がうまくできないので、使用しないこと。

感光光源：「捕虫器用ケミカルランプ」を使用する。この方が蛍光灯より早く確実に仕上がる。蛍光灯スタンドを利用し、「捕虫器用ケミカルランプ」に交換して点灯させて使うか、安定器とグローランプ等を入手して自作することもできる。紫外線発光用の蛍光灯には「殺菌灯」もあるが、少し発光波長が異なるようで、露光がうまくできないので、使用しないほうがよい。

◆写真4.3.4　自作した露光用光源

ドリル：プラモデルで発売されていたドリルキットが使いやすかったが、残念ながら市場から消えてしまったようである。代わりにやや高価だがサンハヤト製ミニドリルD3が便利。専用スタンドST-3と組み合わせて使用する。

ドリル刃：0.7mmとか1mmの小さな穴あけ用として使用するドリル刃は、半月型のドリル刃か、鉄工用ドリル刃を使う。半月型は断面がD字形のドリルで、真鍮やアルミの穴あけ用で高速加工に向いている。

これ以外に取り付け穴の2mm、3.2mm用のドリル刃と、バリ取り用の6mm程度の太めのドリル刃（使い古しで可）が必要。

その他：基板切断用カッターを用意する。市販プラスチックカッター用ナイフで十分。

4-3-2　手順1：パターン図の作成

最初にすることはプリント基板のもととなる**パターン図**の作成です。パターン図作成は、一昔前は耐酸性ペンやレタリングを使って手書きしましたが、いまではパソコンとEDAツールで作成します。仕上げがすばらしいですし、細いパターンでICのピン間を通すことも楽々できます。しかもこれらのEDAツールがフリーソフトとして使えるものがいくつかありますのでこれを利用しない手はありません。

EDAツールを使って作成したパターン図を、インクジェット用**OHP透明フィルム**にできるだけ濃く印刷します。

注意すること　プリンタはインクジェット方式のものを使用してください。最近のものなら、細い線も十分きれいに印刷できるので性能的には問題ありません。ただし、黒インクだけは**顔料系インク**のものを使い、プリンタ設定で色の濃さを最高に設定して使用します。染料系のインクだと、フィルムではじかれてしまって印刷が濃くできず、光が透けてしまいます。

また、レーザプリンタは、ベタ部の印刷時に濃度コントロールが自動的に行われて薄く印刷されてしまうので使えません。

写真4.3.5が実際に作成したパターン図をフィルムに印刷して適当な大きさに切ったものです。左側は2枚同じものを印刷してセロテープで張り合わせたもので、1回で2枚同じものが作れます。

エッチング液を節約するコツ　パターン図が基板より小さい場合は、余った基板部分をベタパターンにしておくとエッチング液の節約になります。

用語解説

・**EDAツール**
設計作業を自動化しサポートするためのソフトウェア（設計用ツール）。

・**OHP**
オーバーヘッドプロジェクタ

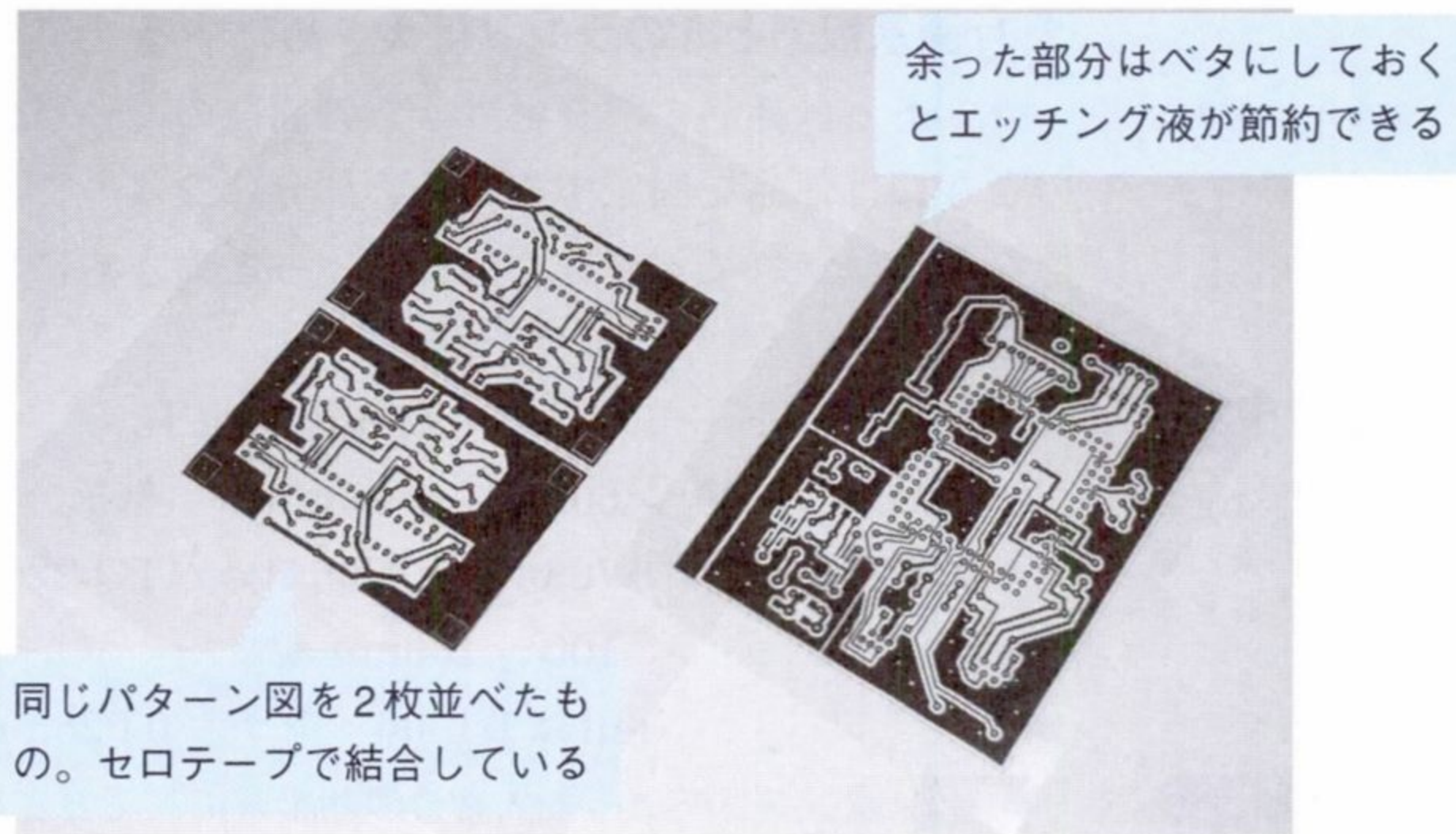
参照

・設計用ツール→p.190

注意

インクジェット方式のプリンタを使用し、顔料系の黒インクを使用すること。

余った部分はベタにしておくとエッチング液が節約できる

同じパターン図を2枚並べたもの。セロテープで結合している

◆写真4.3.5　パターン図のフィルム例

注意

パターンを印刷するとき、裏表に注意すること。部品実装面から見た透視図で作成し、それをそのまま印刷する。

注意すること　パターンを印刷するときの裏表に注意して印刷します。

印刷する際のコツ　EDAツールを使ってパターン図を作成すると、通常基板の部品実装面から見た透視図で作成するので、それをそのまま印刷しておきます。こうすると、露光するとき印刷面を基板と直接密着させることになり、紙の厚さによる隙間がなくなるのでより正確にパターンの露光ができます。

■パターン作成時のコツ（図4.3.2参照）

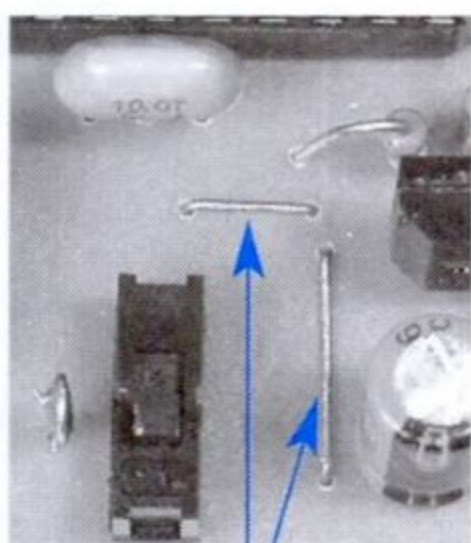
① できるだけ片面基板で作成する

プリント基板用の感光基板には銅箔が片面と両面にあるものがあります。両面基板は複雑なパターンを通すときには両面が使えるので楽なのですが、裏表のパターン位置をピッタリ合わせるのが結構難しいのと、裏表を接続する（市販の基板では**スルーホール**という）のが結構面倒です。

コツ　できるだけ片面基板で作成した方が工作は楽になります。パターンが通せないときは、ジャンパ線を使って部品面側で接続します。ジャンパ線が10本くらいまでは我慢して片面基板にしましょう。どうしても表面実装を裏表両方にして小型化したいときなどは、基板製作会社に発注するのが得策です。

用語解説

・ジャンパ線

ここでの意味は、プリント基板上で、配線が重ならないように（パターンが通せないので）あらかじめ切断しておいた箇所をつなぐ線。抵抗器のリード線の切れ端などをジャンパ線に代用することができる。

ジャンパ線

①片面基板でパターンが通らないところはジャンパ接続とする

②ランドは大きめにし、穴径は小さめにしてドリル刃のポンチの役を果たすようにする

③配線パターンはできるだけ幅広くする

④空いたスペースはベタアースとする。EDAツールを使うと、自動でランドなどとの隙間を作る

⑤4隅には固定ネジ用の穴を用意しておくMountで描画できる

◆図4.3.2　基板作成のコツ

② 片面基板のときのランドは大きめにする

ランドとは部品を取り付ける穴の周りの丸いパターンのことです。これが片面のときには部品を固定するための部分になるので、あまり小さいとはんだ付けの熱などではがれてしまうため、ちょっと大きめにしておきます。どれくらいかというと、

- IC用ランド　：60mil（ミル）× 80milの楕円
- 部品用ランド：60mil φ～80mil φ（抵抗、コンデンサ、トランジスタ等）
- 大型部品　　：70mil φ～90mil φ（TO-220トランジスタ、コネクタ等）
- 電源ピン　　：100～150mil φ

（milは1/1000インチ＝0.025mm）

コツ ランドはちょっと大きめのサイズにしておきます。さらにランドの穴径は、実際の穴より小さめのサイズとして描画しておきます。これは、穴をあけるときのドリルの刃先が銅箔ですべってちょうど穴の中央になるようにするためです。

アドバイス
必ず、ランドの穴径（センター穴）をパターンに描いておきます。

用語解説
・ランド
部品を取り付ける（はんだ付けする）穴の周りの丸いパターン（銅箔部分）。
・パターン
配線（銅箔の線）。

③ 配線パターンは通せるところは幅広くする

通常の配線パターンもできるだけ幅広くしておいたほうが丈夫になります。デジタルICのピンの間を通すときには、細くせざるを得ませんが、それでも20mil程度は確保しましょう。

- 通常の配線　　　：30mil～40mil
- 電源、グランド　：40mil～80mil
- ピン間を通すとき：15mil～20mil

用語解説
・グランド
電子回路で扱う電気の電位基準点で0Vを示す。アースとか接地とも呼ばれる。

④ 空いたスペースはベタアースとする

空きスペースが必ずできますが、このようなスペースはノイズ対策や、安定動作の目的で、グランドのベタパターンで埋めます。

コツ EDAツールを使うと簡単にベタパターンができて便利です（EDAツールの機能を利用すると簡単です）。

常識
空いているスペースはすべてグランドに接続するパターン（ベタアース、ベタパターン）にすること。

⑤ 四隅は取り付け用穴のスペースを確保する

基板の四隅は取り付け用の穴として3.2mm φをあけられるスペースをできるだけ確保するようにします（ネジで固定するための穴）。

コツ EDAツールを使うとマウントとして描画できるようになっています。

参照
・電源とグランドの配線 → p.26

4-3-3 露光

印刷したフィルムのパターンを、市販の感光基板に直接露光します。筆者は、写真4.3.6のようなサンハヤトのカメレオンレジストポジ感光基板10Kというのをよく使っています。寸法は10cm × 7.5cmで大抵の物がこの大きさで実装できて、ちょうど手ごろな大きさです。この感光基板シリーズにはいろいろな種類があるので、適当なものを購入して使います。作成するパターンが小さい場合で、かつ手ごろな大きさの感光基板がないときは、複数枚のパターンを一緒に作るなどして有効利用した上で、穴あけのときアクリルカッターで余分な部分を切断して利用

用語解説
・露光
感光基板の上にパターン図をのせ、光を当てて焼き付けること。

アドバイス

この感光基板を利用し、図4.3.1の手順で製作したものがプリント基板になるわけです。

参考

・ポジ感光基板：10K
材質：紙フェノール

するとよいでしょう。

感光には、感光基板とパターン図のフィルムを、露光用のホルダーセット（サンハヤトPK-CLAMPが便利）で挟んで固定し、露光用光源から紫外線をあてて露光します。

写真4.3.7は露光の準備をしているところで、感光基板とフィルムのパターン図をクランプに挟むところです。

注意すること　パターン図の裏表を間違えないようにします。間違えてしまうと元には戻せず、やり直すしか他に方法はありません。

◆写真4.3.6　感光基板例

注意

パターン図の裏表を間違えないように。

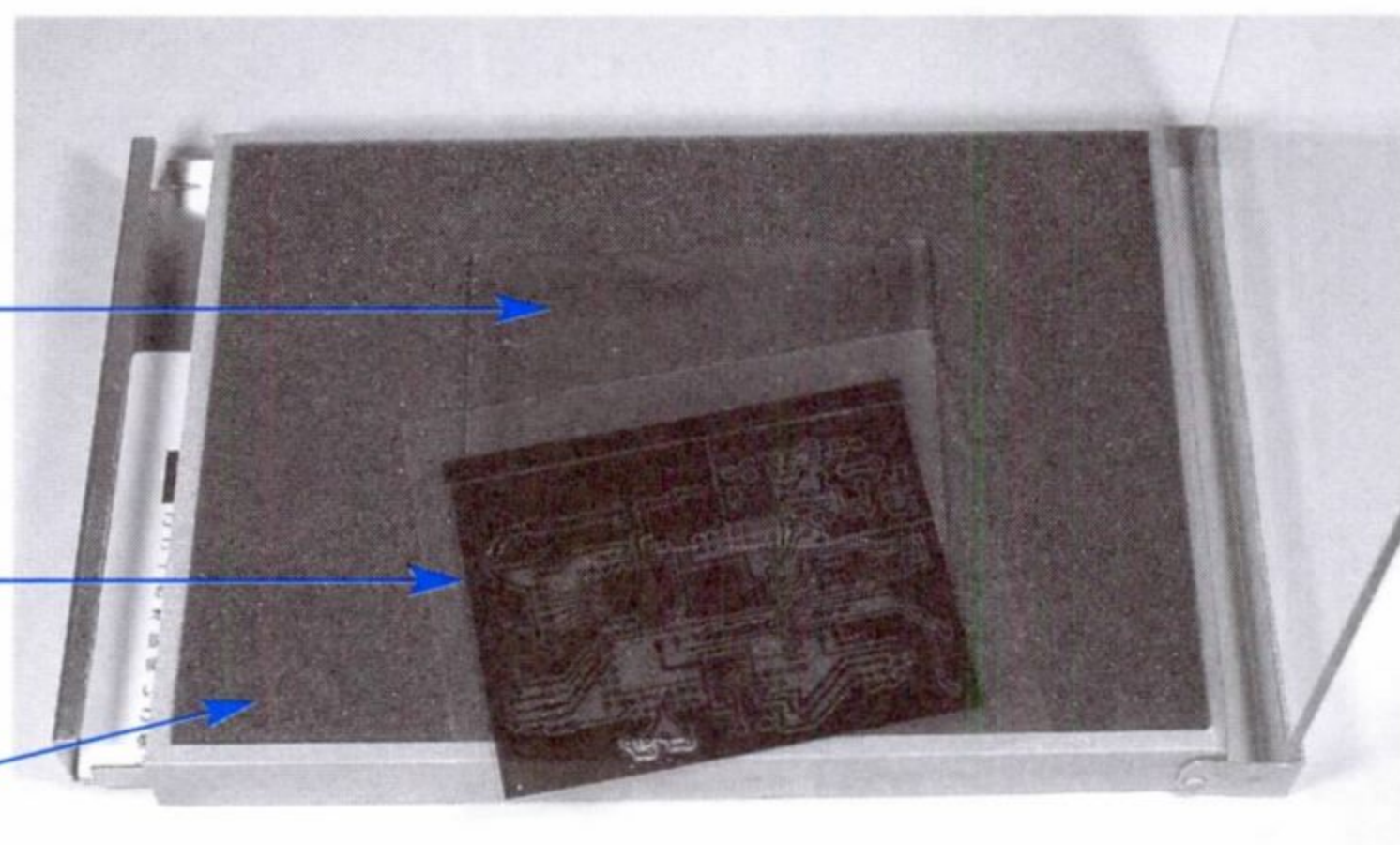
露光のコツ①　パターン図の印刷面側が基板の銅箔面とぴったり密着するようにセットします。こうすると、フィルムの厚さの隙間から紫外線が入って、パターンが痩せるのを防ぐことができます。

アドバイス

作業はできるだけ薄暗い部屋で行ってください。太陽光は厳禁です。

【感光基板】
感光剤側を上にしてセット

フィルムに印刷したパターン図
印刷面を下側にして密着させる

PK-CLAMP

◆写真4.3.7　露光準備

■露光用の光源

露光用の光源を準備します。光源としては、専用に自作もできますが、簡単なのは蛍光灯のスタンドの利用です。これならいたって簡単にできます。まずは蛍光灯のスタンドか小型天井灯のセットを用意します。蛍光灯は10Wのものが適当です。これと捕虫器用の「**ケミカルランプの10W**」を購入します。ケミカルランプは東急ハンズなどで入手できます。

蛍光灯スタンドの蛍光灯をケミカルランプに差し替えれば光源が完成するのでこれが一番簡単な方法です。

実際の露光では、紫外線の光源を、5から10cmの距離で、8分から10分程度で露光できます。

露光のコツ②　何度か光源の位置をずらして基板の全面に万遍なく光が当たるようにします。比較的太いランプなので基板の端の方にさえきちんと光りを当てれば問題なく露光できるはずです。

注意すること①　殺菌用の透明の蛍光灯は、発光する紫外線の波長が異なり露光がうまくいきません。

注意すること② あまり長く露光しすぎると、フィルムの印刷部分から紫外線がわずかに通過してしまうため、全体が露光されてしまうので注意してください。時間は「感」に頼るしかありませんが、8分から10分の間でやれば大丈夫です。

注意すること③ 基板とパターン図の間に隙間がないようにします（フィルムの厚さも問題になります）。この隙間があると光源からの光が斜めに入り、一定の方向のパターンだけが痩せ細ってしまいます。

アドバイス

一般の蛍光灯や太陽の自然光での感光は、失敗の確率が高いのでお勧めできません。

写真4.3.8は露光中の様子です。光源の高さは紅茶の木箱で確保しています。この露光が上手にできればほぼでき上がったも同じです。雑誌などで一般の蛍光灯や太陽の自然光での感光を紹介していますが、これは失敗の確率が高くあまりお勧めできません。上記の露光時間の「感」の所が問題で、適当な物差しがないのです。

◆写真4.3.8　露光中

4-3-4 現像の仕方

教えて

エッチングの前の現像って？　なぜ必要なの？

〔回答〕

この場合の感光基板には、銅箔の上に、フォトレジスト膜（感光剤）が塗られています。実は露光することで、必要な箇所のみこの膜を残したわけです（現像液につけて不要な箇所を取り除く）。言いかえると、光があたった箇所は、現像にて感光剤をとり除き、銅箔のみ残すわけです。

本書では、フォトレジストが最初から塗られている基板を使用しましたが、フォトレジストが塗られていないものを使用する場合は、

露光している間に現像液を準備しておきます。市販されている現像剤（サンハヤト：**ポジ感光基板用現像剤・DP-10が便利**）を200ccのぬるま湯で溶かして作ります。

コツ あまり温度を上げないようにすることがコツです（30～35℃：いわゆる人肌程度）。あまり高い温度にすると露光し過ぎて、細いパターンが切れかけてしまいます。

現像液は保存がきかないので使い捨てになります。そこで現像剤も少ない量のDP-10の方が便利です。

1～2分で現像は完了し、青い感光剤が溶け出して、銅箔面がきれいに見えてきたら完了としてすぐ水洗いします。現像時間は露光時間により多少左右され、露光時間が短かったときは若干現像時間が長くなります。

注意すること 現像後は充分水洗いをして、現像液が付着していないようにしてください。

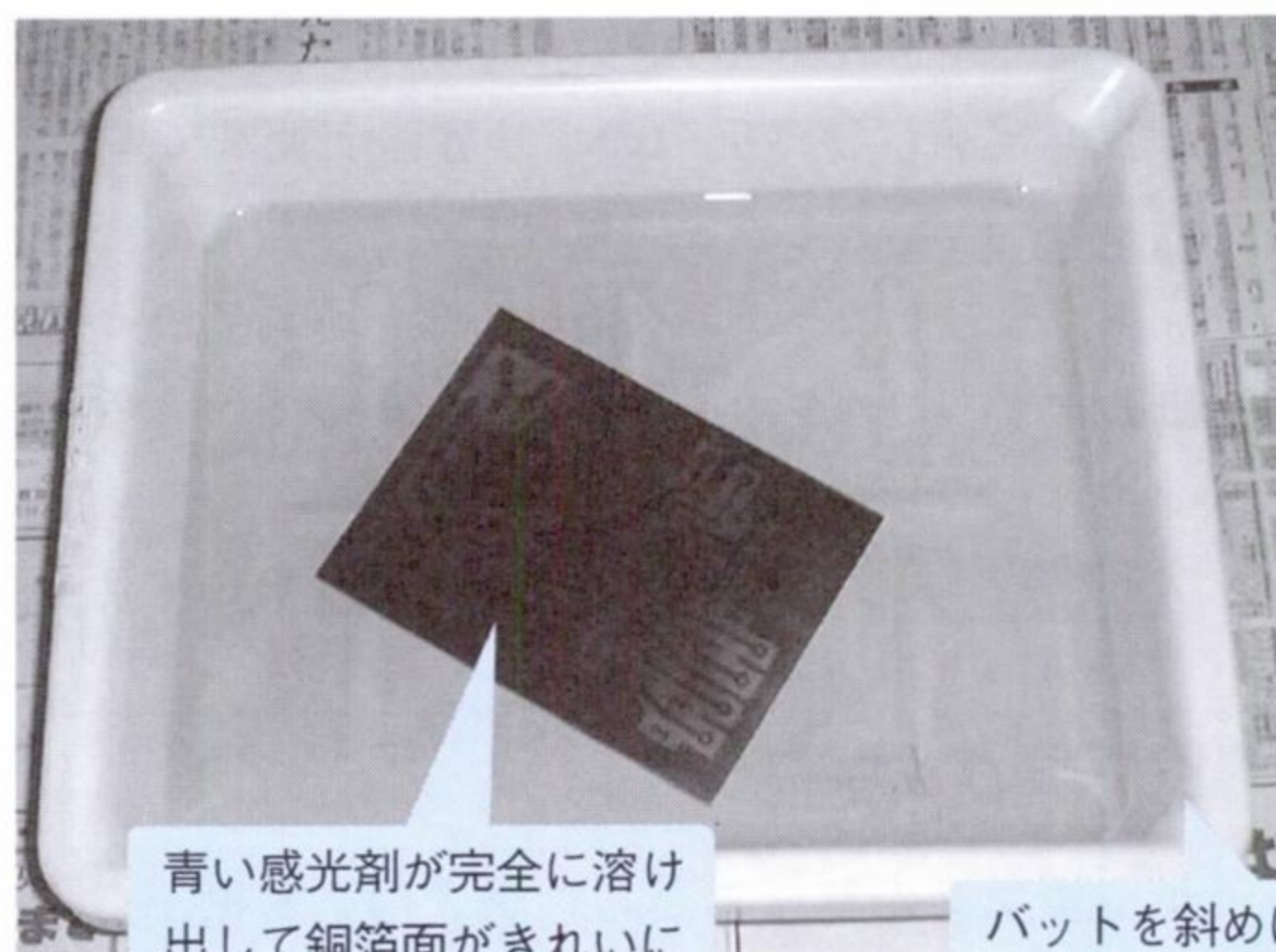
現像は見ていればでき具合がわかるので比較的簡単です。つまり見ている間に青い色の感光剤が溶けてパターンがそのまま現れてきます。また現像中は容器を動かして感光剤が溶けやすくします。

写真4.3.9は現像中の写真で、感光剤が溶け出してきている所です。

フォトレジストを別に購入し塗布する必要があります。

次に、⑤のエッチングで、むき出しになった(感光剤がとれ、銅箔のみ残った部分)銅箔を溶かして取り除きます。

青い感光剤が完全に溶け出して銅箔面がきれいに見えてきたら完了

バットを斜めに傾けて現像液が動くようにする

◆写真4.3.9 現像中

4-3-5 エッチングの仕方

用語解説

・エッチング
エッチング液で不要な銅箔部分を溶かすこと。

常識

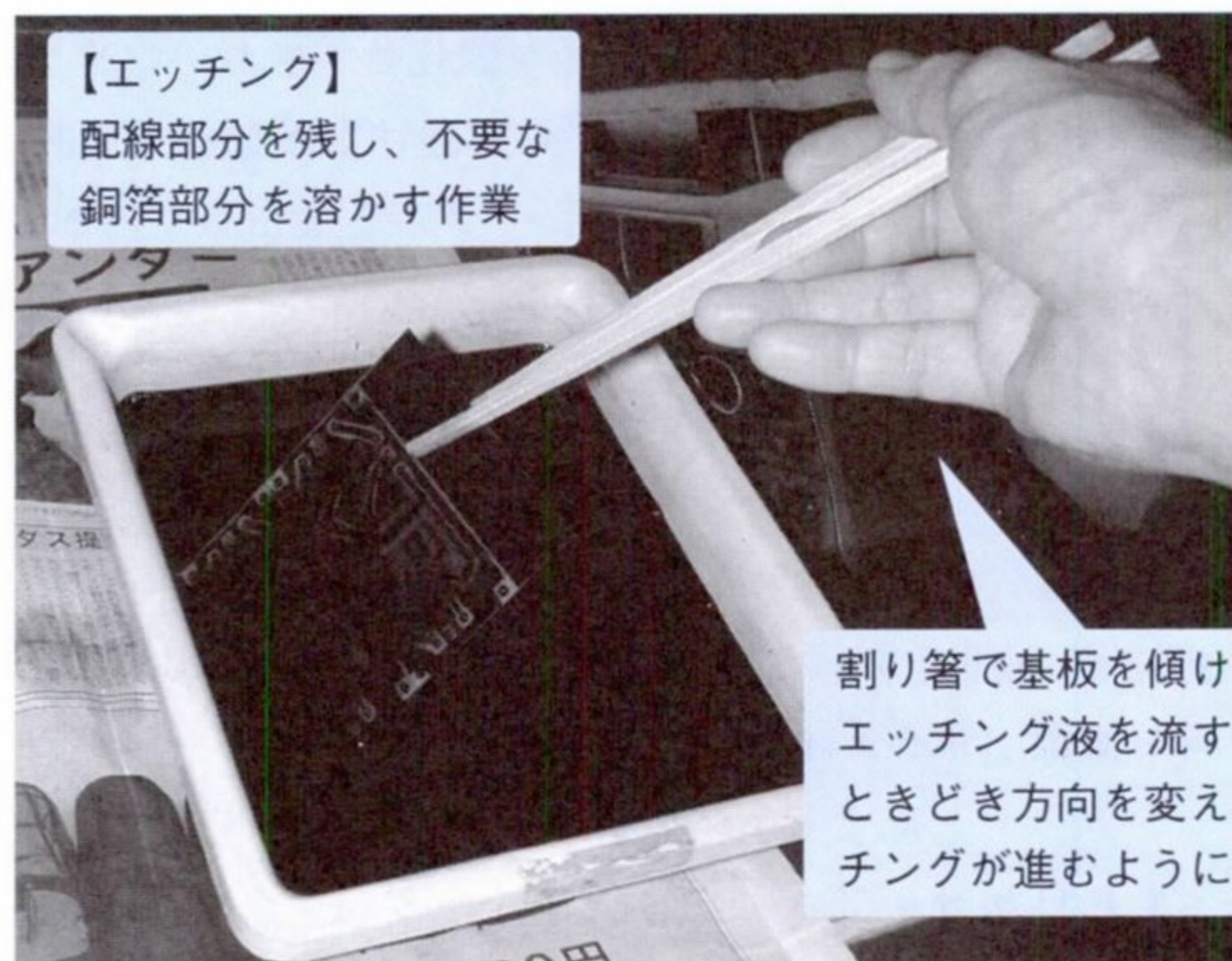
現像終了後に、できるだけはやくにエッチングすること(1日おいたりしないこと)。

現像が完了したら間をあけないでエッチングに移ります。 1日おいたりすると銅箔面が酸化しエッチングがきれいにできません。

まずエッチングの準備をします。塩化第二鉄液を適当な量バットに入れます。このときの量は深さが1cmぐらいになるぐらいが適当です。液の温度が高いほど(40から45℃)エッチングが早くできますので、エッチング液のバットを大き目のバットに熱いお湯を入れたものの中に浸し、温めながらエッチングする湯煎方式とするのもよい方法です。

基板は**割り箸などを使って常時動かしながらエッチング**します。動かすことでムラなく早めに仕上がります。約10分から20分ぐらいでエッチングが完了するはずですが、エッチング液の新しさと温度により時間が変わります。新しい程早くできますので、エッチング液が黒くなって古くなって来たら新しいのに変えどきです。写真4.3.10はエッチングの最中で、割り箸で基板を動かしている所です。

【エッチング】
配線部分を残し、不要な銅箔部分を溶かす作業

割り箸で基板を傾けて、基板表面のエッチング液を流すようにする。ときどき方向を変えて、均等にエッチングが進むようにする。

◆写真4.3.10 エッチング中

エッチングが完了したらエッチング液を広口ビンなどに戻して保存しておきます。化学実験に使う広口のポリ容器が便利です。

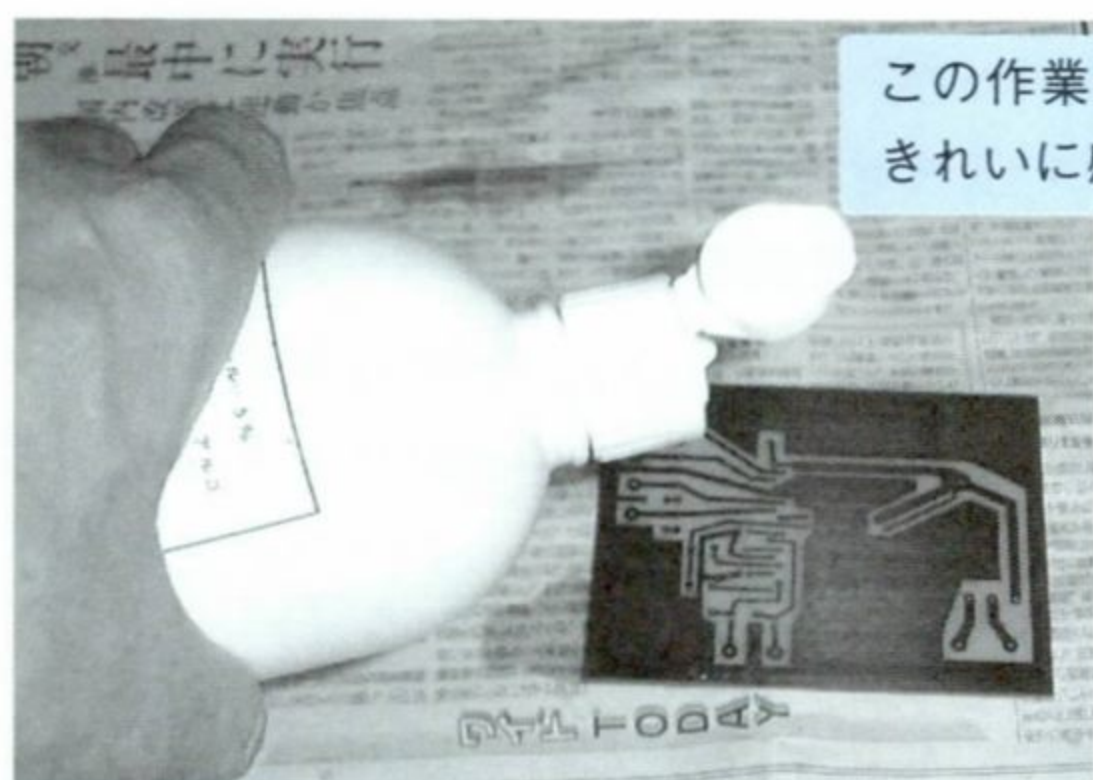
注意すること 金属容器は表面が化学反応してしまうので使えません。

古くなったエッチング液は、添付されている処理剤で処理してからごみとして廃棄します。これがちょっと面倒なのですが、添付のビニール袋と大きなポリバケツで処理してしまうのがよいでしょう。

注意すること 衣服が汚れると取れないので注意してください。

4-3-6 感光剤の除去

エッチングが終了したら、感光剤を基板から除去するのですが、短時間できれいにとるには、**アルコール**（メチルアルコールなら薬局で買えます）で拭き取る方法がお勧めです。新聞紙などの上で、アルコールを基板面に十分ふりかけ、しばらくしてからティッシュペーパーなどで拭けばすぐきれいに取れます。写真4.3.11はアルコールで表面を濡らしているところと、右は一部ふき取ったところです。

この作業を数回繰り返すと、きれいに感光剤が除去できる

基板表面にメチルアルコールをたっぷりふりかけてから、1分ほどそのままにする

ティッシュなどで基板表面を拭き取ると、感光剤がとれる

◆写真4.3.11　感光剤除去中

きれいに仕上げるコツ① すぐに穴あけをしないのであれが、仕上げ用フラックスを塗布しておきます。銅箔面が酸化せずきれいなままで保存できます。

きれいに仕上げるコツ② すぐ穴あけするなら、穴あけの後で、再度アルコールできれいに拭き取った後、フラックスを塗布した方がきれいに仕上がります。それは、穴あけの最中に指紋が表面についてしまうため表面が汚れるためです。

4-3-7 穴あけ

次ぎは穴あけですが、道具は前述のサンハヤト製ミニドリルD3と専用スタンドST-3が便利です。ミニドリルの仕様は下記のようになっています。

・**電源**：単3×4本を本体内部に実装
　　上部よりACアダプタ（6V 1A）で供給

・**ドリルサイズ**：　標準Aチャックは　0.5 φ～1.5 φ
　　別売りBチャックは　1.6 φ～2.6 φ

【ミニドリルD3本体】
単3電池4本か上部からACアダプタにより電源供給

【超ミニスタンドST-3】
黒い枠の部分が上下にスライドする

標準添付のAチャックは 0.5φ～1.5φ
別売りのBチャックは 1.6φ～2.6φ
ドリル刃は半月型か鉄工用がよい

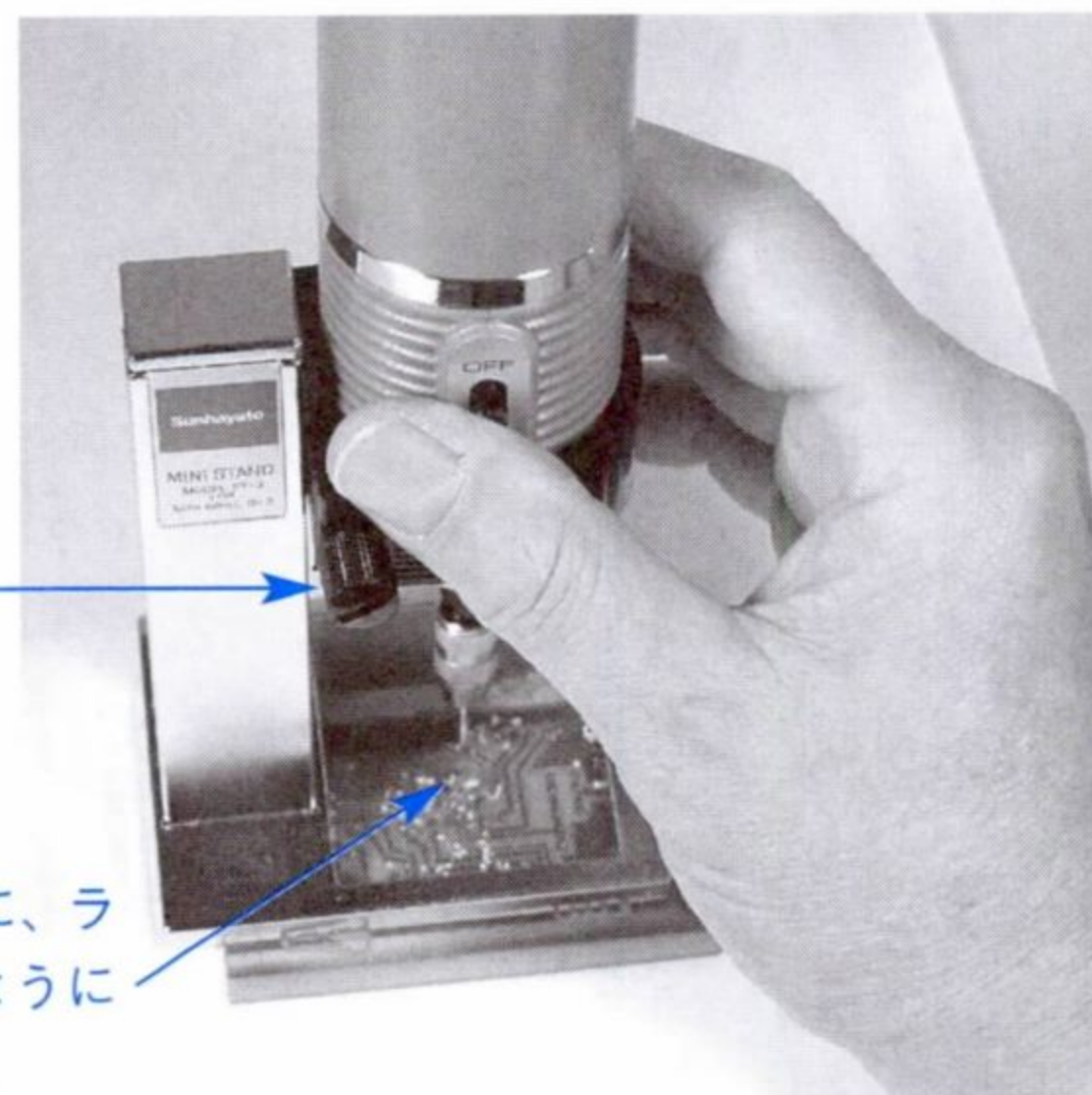
穴の中央部に、穴の中心が来るようにセットして穴をあける

◆写真4.3.12　ミニドリルD3（サンハヤト製）

写真4.3.13はドリルで基板に穴をあけているところです。

穴あけのコツ　ドリルをスタンドに固定する際、スタンドの固定枠をゆるく締め付けておき、ドリル刃の先端が少し動くようにしておきます。これでランドの上にドリル刃がいくと銅箔で刃先がすべり、ランドの中心の穴あけ位置にすべるようになり、中心を狙いやすくなります。ただしこのときのドリル刃は半月型より鉄工用の方がうまくいきます。

締め付けないでドリル刃の先端が少し動くようにすると、ランドで刃先が滑ってランドの中心に刃先が行きやすくなる

スタンドの穴の中央部に、ランド穴の中心が来るようにセットして穴をあける

◆写真4.3.13　ドリルでの穴あけ

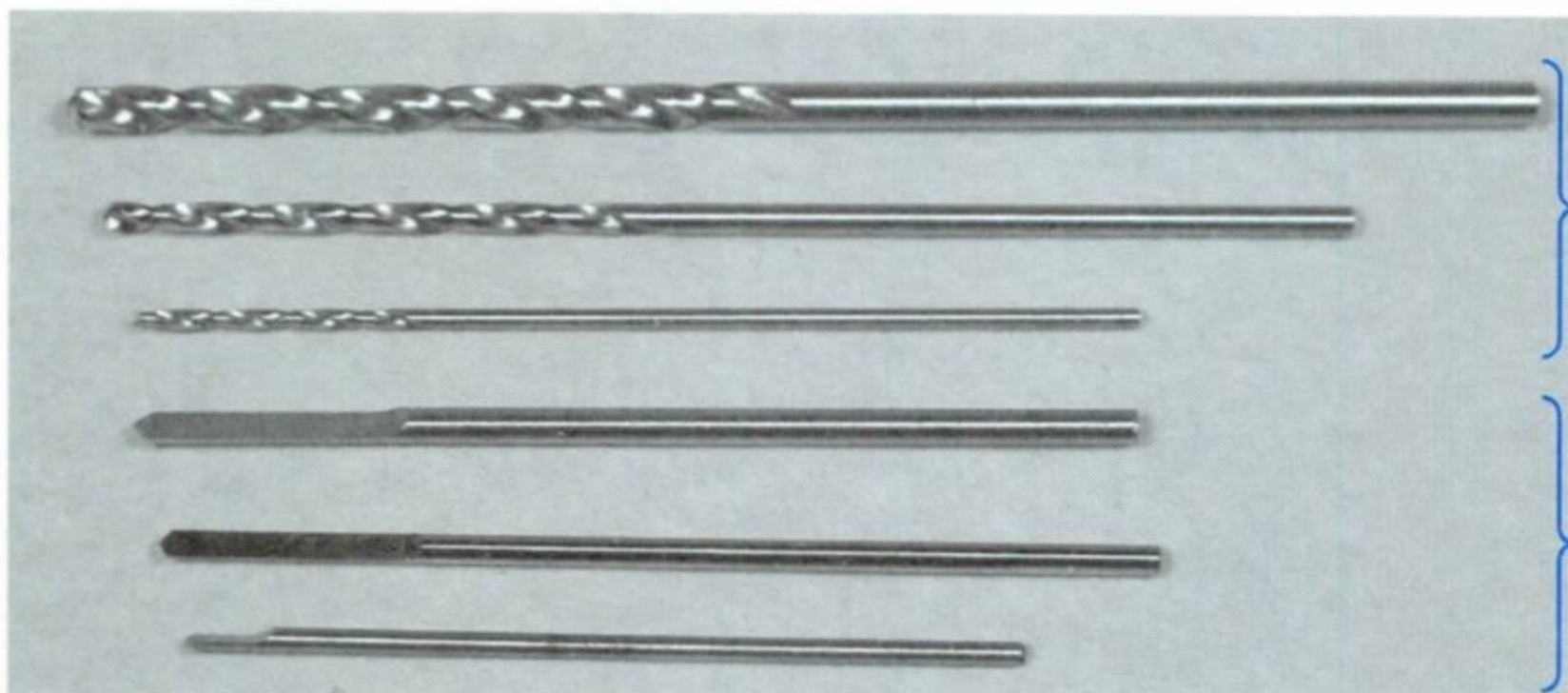
アドバイス

プリント基板の製作では、表4.3.2のドリル刃が必要です。

ドリルの刃には、1mm以下の細いものは、**半月型**か**鉄工用**を使います。ドリル刃として揃えておく必要があるサイズは表4.3.2程度で、これぐらいの種類があればまず問題ありません。太さに合わせてチャックを取り替えて使います。

◆表4.3.2 ドリルの刃

種類	ドリル刃サイズ	対象となる部品
超硬	0.7〜0.8mm φ	IC、抵抗、コンデンサ
	1.0mm φ	基板コネクタ、テストピン、大型抵抗
	2.0mm φ	トリマコンデンサ、大型コネクタ
一般用	3.2mm φ	取り付け用ねじ穴（M3ネジ）
	5.0mm φ	バリ取り用（使い古しで可）

鉄工剣

【鉄工用のドリル刃】
上から 1.2mm
0.8mm
0.5mm

【半月型のドリル刃】
上から 1.2mm
0.8mm
0.7mm

◆写真4.3.14 ドリル刃の例

穴あけは結構コツが必要で慣れるまでは失敗が多いかも知れません。しかし慣れれば正確に素早く作業できるようになります。あけ方のコツには下記のようなものがあります。

① ランドのセンター穴をパターンに描いておく

アドバイス

EDAツールでパターン図を作成する際に、ランドの穴径（センター穴）をパターンに描いておきます。

ランド

穴を描いておく

パターンを作成するとき、ランドの中心がエッチングで銅箔が除去されるように穴を描いておきます。これがあるとドリルの先端が滑ることなくランドの中心に正確に穴を空けることができます。ICなど、並んで多くの穴を空ける必要があるときには不可欠です。ポンチで印を付ける方法もありますが、これはドリル刃が滑ってしまい、IC用など正確な位置を連続であけるのは難しくなります。

コツ EDAツールでパターンを描く際に、ランドの中心に穴を描いておきます。

② 大きな穴には下穴を空ける

参照

・EDAツール →p.191

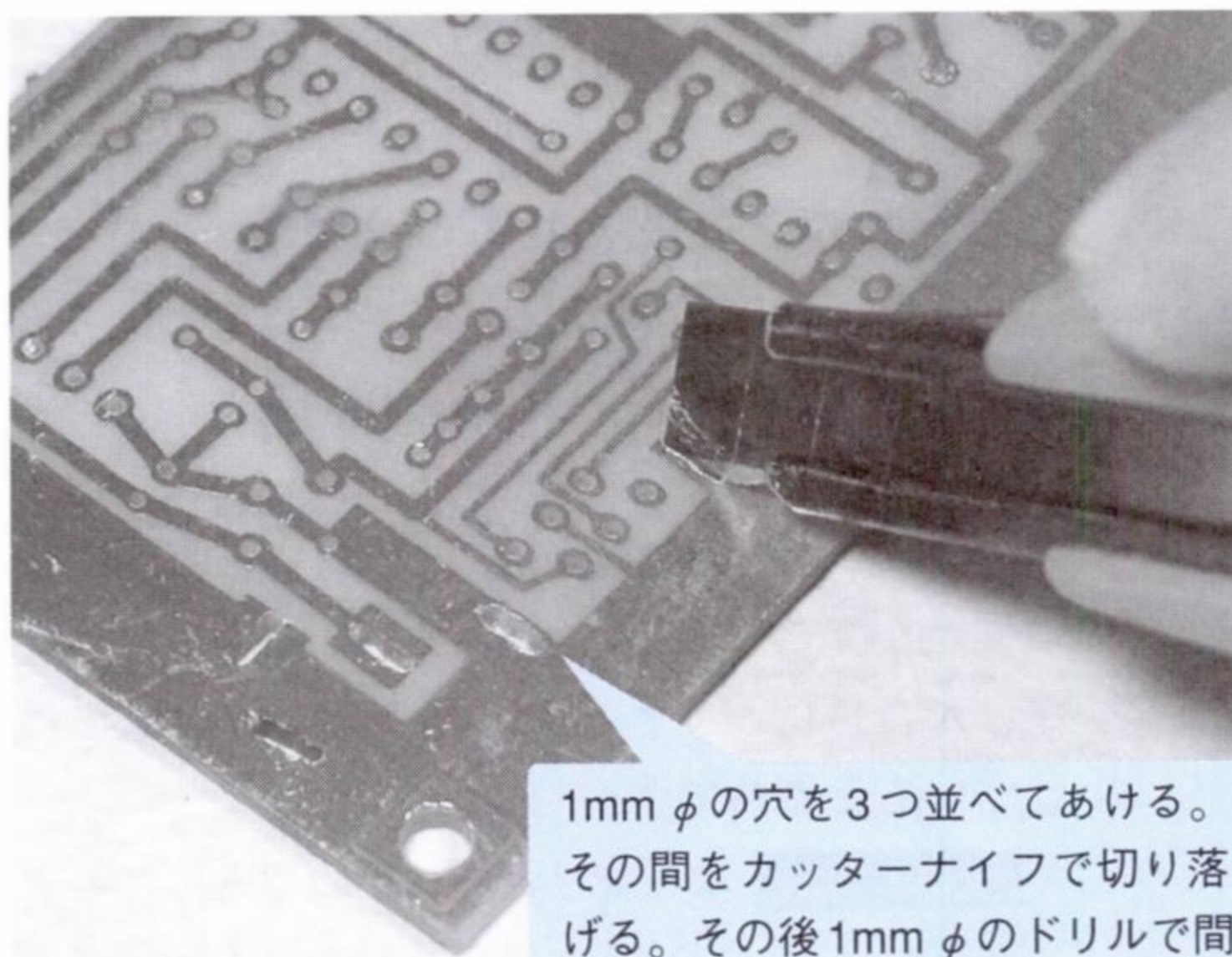
2mm以上の穴は、先に0.7〜0.8mmのドリルで下穴をあけておきます。これで楽にきれいに大きな穴があけられます。

コツ サイズの小さなドリルで下穴をあけておくと、作業がしやすくなります。

③ 長方形の穴は丸穴をつないであける

コネクタの固定穴やトリマコンデンサなどの足には長方形の穴が必要になりますが、このためには、写真4.3.15のように複数個の丸穴を接近させてあけ、それをカッターナイフの先で間をカットしたあと、1mmのドリルで穴の間を整形する

ときれいに仕上がります。

コツ 複数個の丸穴をあけ、それをカッターナイフの先で間をカットして長方形の穴をあけます。

1mm φの穴を3つ並べてあける。
その間をカッターナイフで切り落としてつなげる。その後1mm φのドリルで間を整形する

◆写真4.3.15 長方形の穴あけ

④ あけ終わったあとのバリを取る

穴をあけおわったら、まわりのバリをとりますが、全体を基板材の端でこすれば、小さな穴のバリは簡単にとれてきれいになります。大きな穴のバリは、大き目のドリル刃を直接手で持って軽く削ぎ落としてきれいにします。

コツ 大き目のドリル刃(5mm φぐらい)を利用します。

用語解説
・バリ
穴のまわりにはみだした余分な部分。

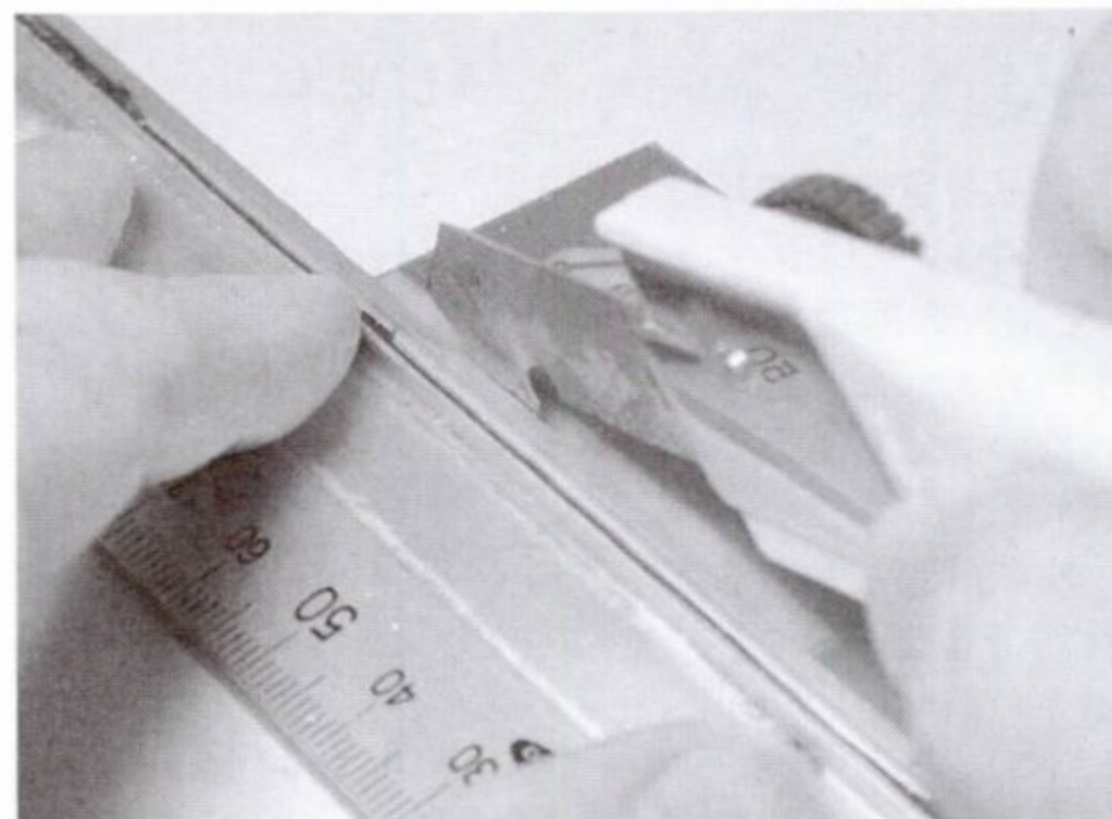
⑤ 部品面とはんだ面を一緒に印刷した図で確認する

穴のあけ残しがないかは、パターン図を印刷する際、部品面とはんだ面を合わせて一緒に印刷しておき、両方の図を見ながら確認すると楽にできます。

コツ 部品面とはんだ面の両方を印刷しておきます。パターン図を印刷する際、はんだ面も印刷しておくとよいでしょう。

4-3-8 基板の切断と仕上げ

複数のパターンを一緒に作成したり、余分な部分がある場合には、ここでそれらを切断します。直線部分を切断するにはアクリルカッターを使い、曲線の場合には糸鋸を使います。

アクリルカッターで切断するときは、金属定規でしっかりと補助しながらアクリルカッターで溝を付けて切断していきます(写真4.3.16参照)。

◆写真4.3.16 アクリルカッターによる基板の切断

アドバイス
滑りやすい机の上では作業は行わないでください。また、作業中にカッターで机を傷付ける恐れがありますので、注意してください（厚手の雑誌などを下に置いて作業すると安全です）。

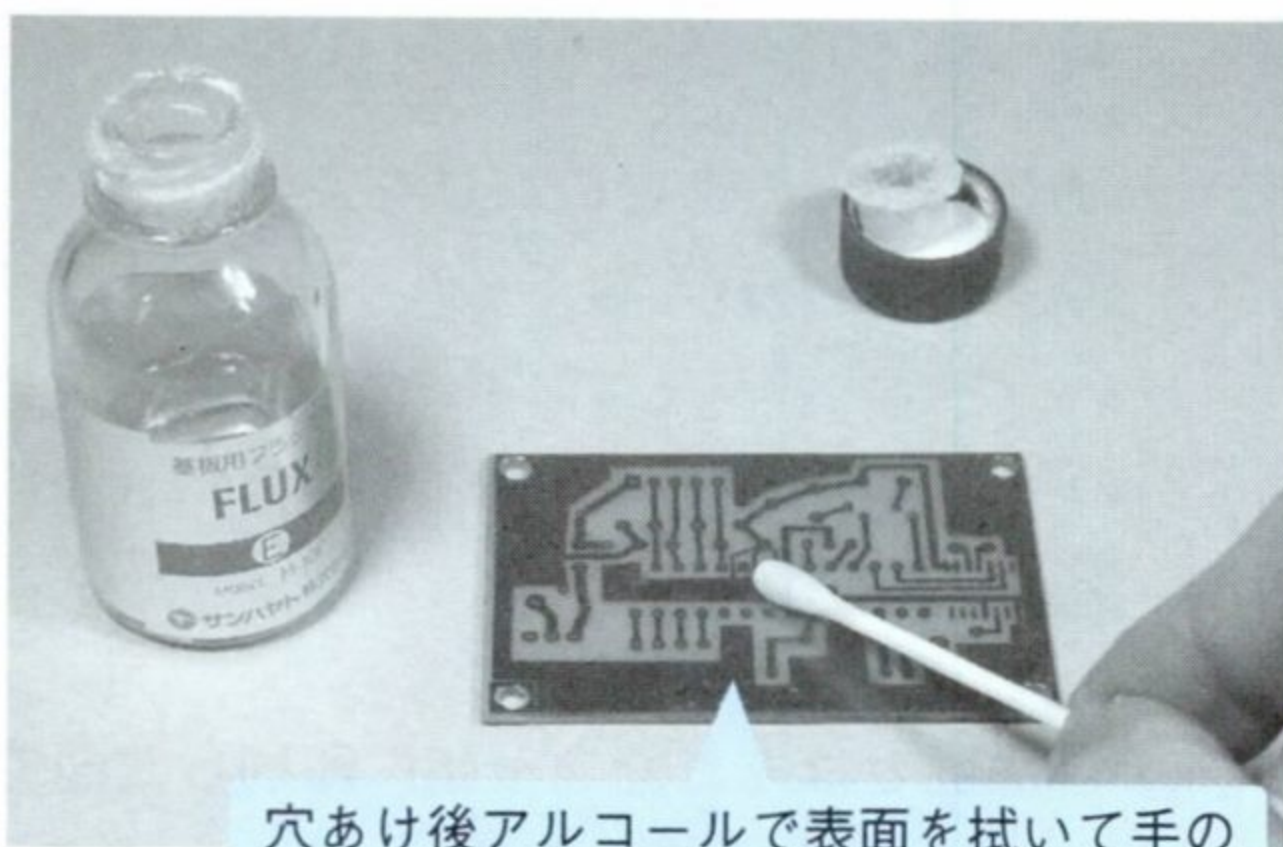
切断するときのコツ 最初の内はカッターにあまり力を加えず軽く溝をつけ、大体の溝が付いてから力を加えます。その後溝が十分についたら定規をはずして何回もカッターをかけて溝を深くします。最初からカッターに力を加えると、補助定規に沿った線でなく、別の方向に刃がそれてしまうことがあります。両面に溝がついたら、手で折れば簡単に切断できます。切断面のバリをそぎ落としておきます。

■フラックスを塗布して仕上げる

取り付け用の3.2mm ϕの穴もあけ終わったら、最後の仕上げに、もう一度アルコールで表面の汚れを取り、全体にフラックスを塗布して仕上げます（サンハヤト：基板用フラックス）。

用語解説
・フラックス
基板の酸化防止用薬品。

フラックスを塗布しておくと銅箔表面が酸化せずいつまでもきれいな状態を保つことができるとともに、はんだ付けのフラックスの役割も果たすので、きれいなはんだ付けができます。写真4.3.17は穴あけ後フラックスを綿棒を使って塗布しているところです。

塗布のコツ ニス塗りと同じ要領でさっと手早くすることです。また一定の方向に塗布し、行ったり来たりの塗り方はムラができて汚くなってしまいます。

◆写真4.3.17 フラックス塗布

4-3-9 パターンの修正

実装途中でパターンが間違っていたことに気が付いたときは下記のようにして補修します。

教えて
部品を実装（取り付け）中に、パターン（配線）の間違いに気が付きました。どうすればいいでしょうか？
〔回答〕
右に解説した方法で対処できます。

① 穴のあけ忘れ

単純にあけ忘れのときは1mm以下の小さい穴なら、ドリル刃をピンバイスに取り付けて直接手で持って回転させてあけます。ただしドリル刃は非常にもろいので、斜めにするとすぐ折れてしまうので注意が必要です。

② パターン抜けのとき

近くの配線のときは、部品のリード線を利用します。必要な長さで切り、折り曲げて配線します。遠くのときは細めの被覆線材で配線します。

1
2
3
4
5

③ パターン間違いのとき

余分なパターンはカッターで切断し、不足のパターンは②の方法で配線します。

このような補修が自由にできる所が自作のよい所です。気にしないでどんどん補修をして使いましょう。

4-3-10 部品の実装組み立て

プリント基板ができ上がったら部品を実装して組み立てますが、このとき必要となる電子部品類は小型のものが多く、種類も多いので、電子工作を続けていくには整理整頓をしておくことが間違いなく手早く作るコツです。

◆写真4.3.18 パーツ整理箱

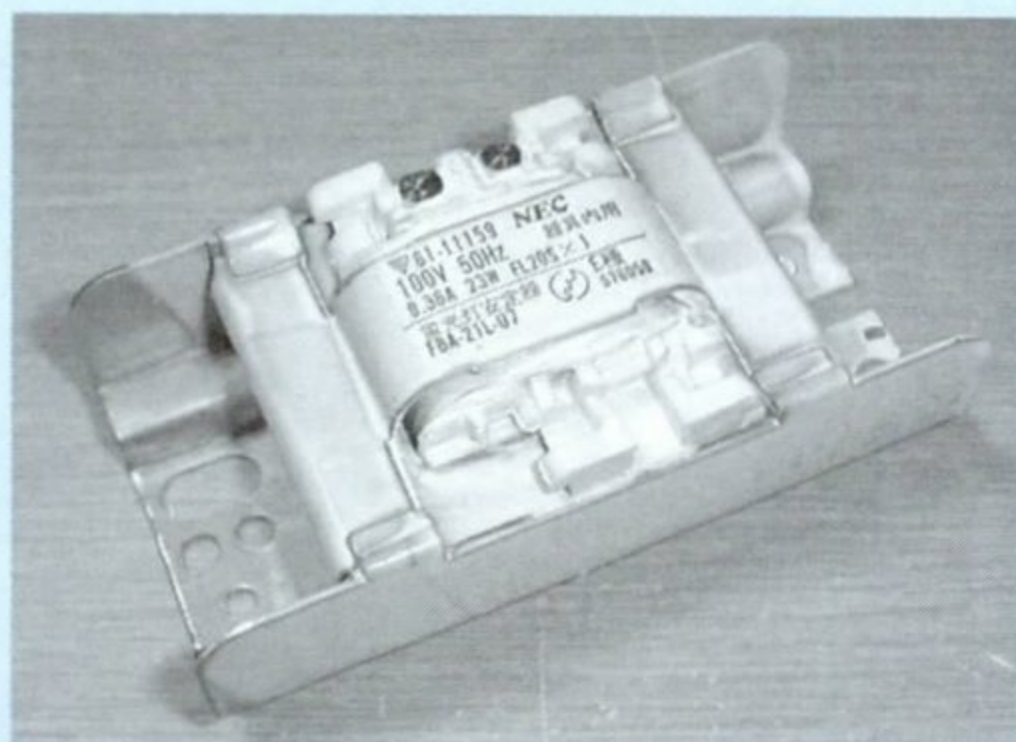
電子部品を整理するには写真4.3.18のような**パーツ整理箱**が便利です。小物を入れるためのスペースが仕切りの入れ方で可変にできるので、大きさに合わせて変更ができ、整理には持ってこいです。

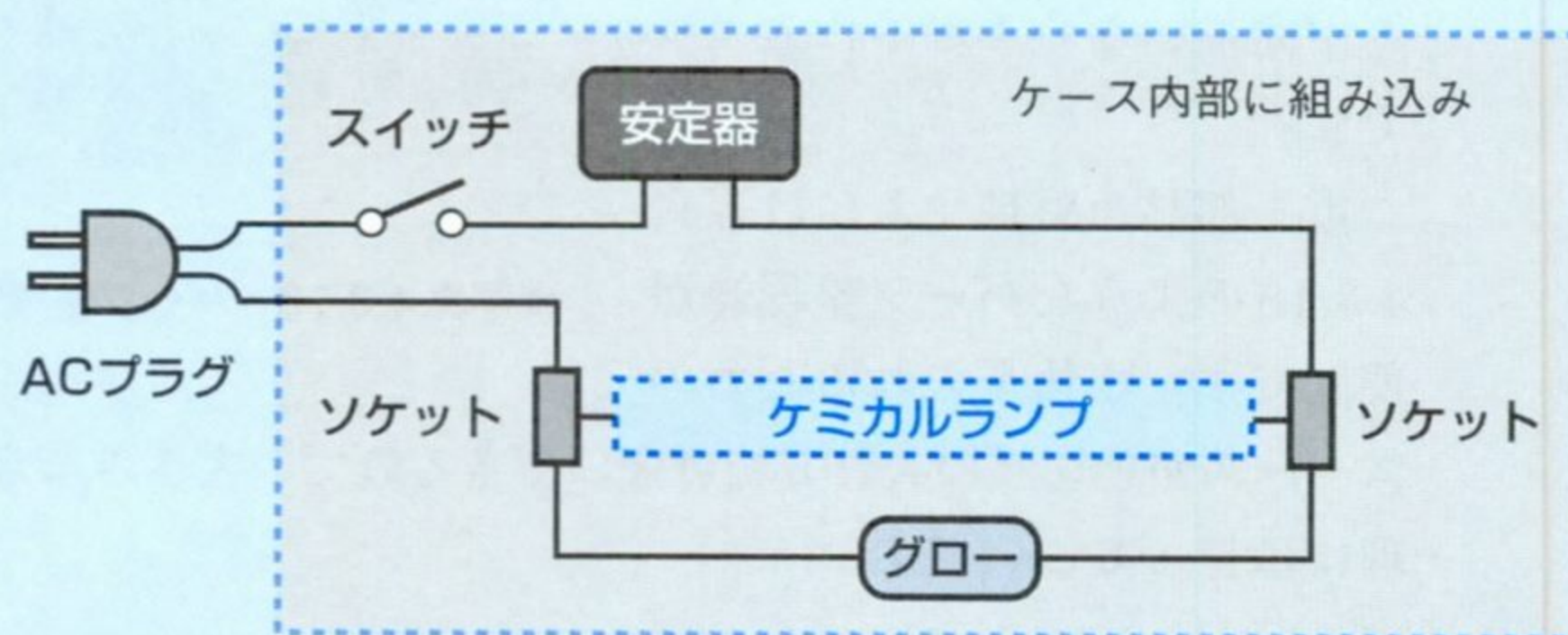
COLUMN 感光用光源の自作法

感光基板を紫外線で露光するために使う、露光専用の紫外線光源の作り方を説明します。基本的には蛍光灯と同じですから、蛍光灯スタンドを作るのと同じパーツでできます。まず用意するパーツは、表1のようなものとなります。

◆表1 光源用部品

品名	型番など	数量	備考
ケミカルランプ 10W	捕虫器用の蛍光灯	1	殺菌用の透明なものはだめ
安定器 10W用	一般蛍光灯用	1	
グローランプソケット	一般蛍光灯用	1	
蛍光灯用ソケット	一般蛍光灯用	2	
グローランプ	一般蛍光灯用	1	
AC電源スイッチ	AC125V以上	1	
ACプラグ付きケーブル	2m程度の長さ	1	AC100V用
ケース	何でもよいが透明でないもの	1	木材やアクリル等で組み立ててもよい
線材	少々	1m	AC100Vの配線用なので太目のものが必要

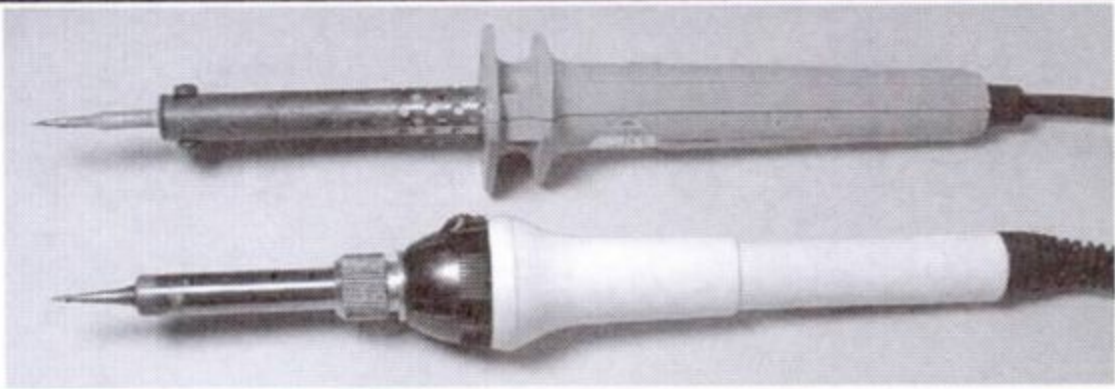
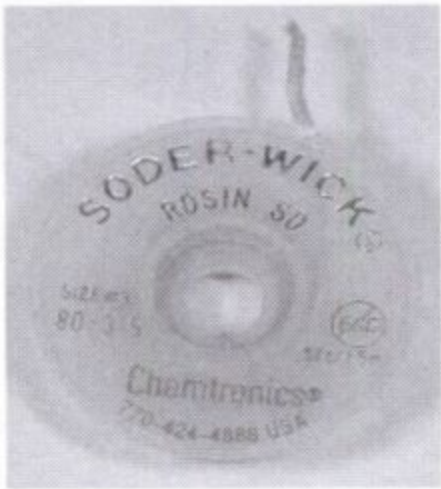
これらの主要パーツの外観は写真1のようになっています。

◆写真1　安定器（20W用）、グローランプソケット

次に用意したものを図1のように組み立てて、回路に従って接続すれば完成です。これでスイッチをONとすれば、グローランプが数度光ってからケミカルランプが点灯します。ケミカルランプの光は紫外線ですから、直接はできるだけ見ないようにしましょう。

◆図1　露光用光源の回路

実際に組み立てた例が写真2です。例では、ケースにアクリル板の端材を流用しました。内部に白色の塗装をして外部への光の漏れが少なくなるようにしたつもりです（紫外線なのであまり効果はないかも）。

◆写真2　露光用光源の自作例

4-4 組み立て方のノウハウ

電子工作で設計の仕方がある程度理解できたら、あるいは工作キットから始めるときも、次のステップは組み立て方です。その中でも最初の課題は「**はんだ付け**」です。慣れてしまえば意外と簡単なのですが、それまでは結構むずかしく感じる方がいるかも知れません。しかし次のような手順で進めれば問題なくできるようになるでしょう。

4-4-1 はんだ付けのノウハウ

電子工作に必ず必要となるのがはんだ付けです。このはんだ付けの良し悪し、上手下手で電子工作の成功、不成功が左右されます。何と**電子工作の動作不良の90％がはんだ付け不良**だといわれています。はんだ付けが上手にできるようになれば、電子工作もまた楽しいものとなってきます。うまくなるには練習しかありません。繰り返しやってみることです。

■はんだ付けに使う道具

はんだ付けに使う道具には表4.4.1のようなものがあります。はんだ付けの対象によって方法が異なり、また道具も異なってきますが、電子工作用には表にあるもので十分でしょう。

◆表4.4.1　はんだ付けの道具

名称	外観	用途・選び方
はんだこて		熱の強さで2種類あると便利。 15W～20Wが基板用で、30W程度が太い配線用。 とりあえずは基板用があれば大丈夫。
はんだ吸取り器		大き目の方が吸引力が強く使いやすいが、小型基板には小型の方が扱いやすい。
はんだ（糸はんだ）		0.8mm ϕ 程度の細めのヤニ入りで、基板用と配線用は同じもので可。 錫の含有率が60％以上のものがつやがあってよい。 フラットパッケージ基板用には0.6mm ϕ の細目が扱いやすい。
はんだ吸い取り線		銅の網線の毛細管現象で、溶けたはんだを吸い取る。

こて台		重量のあるものの方が安定感があって安全。 こて先清掃用のスポンジがついているものを選ぶ。 このスポンジには水を含ませて時々こて先をクリーニングしながら使う。
ピンセット		表面実装部品など特に小型の部品をつかむのに使う。

ニッパ		ラジオペンチ	
	線材の切断と被覆むき		端子折り曲げと固定

■はんだ付けの基本

はんだ付けの基本は、次のことを守っていればうまくできます。

① はんだ付けの面がきれいで油や錆が付いていないこと

参照
・フラックス → p.209

はんだは油面や錆ではじかれてしまうので付きが悪くなってしまいます。特にプリント基板の銅箔面は、仕上げフラックスがされていないと酸化してはんだ付けがしにくくなってしまうので、必ずプリント基板作成のときには仕上げ用のフラックスを塗布しておきます。

② はんだ付けするものに予備はんだ付けをしておくこと

参照
・予備はんだ → p.227

あらかじめリード線や線材にはんだを付けておくと、はんだが流れやすくなって上手に付けられます。ただし、プリント基板は予備はんだをすると穴がふさがってしまいますので避けた方がよいでしょう。

③ こての先を常にきれいにすること

はんだこては、購入したらすぐに先端にはんだを溶かしてメッキしたような状態にします。使用中は、こて台についているスポンジ等に水をたっぷり含ませてときどきこて先を拭き取ってきれいにしながら使います。

④ 十分はんだが溶けるまで、こてを当てたままにしておくこと

1、2秒の間、こてを当ててはんだが溶けるように両者を熱し、そこに糸はんだを当てて溶かし込むようにします。そしてさらに数秒そのままとすると、溶けたはんだが部品の間に溶けこんでなじむようになりますので、そこで完了です。

コツ 特に基板のときには、スルーホールやランドにはんだが溶けて広がるようになるまで待ってから、はんだこてを離します。この待つ時間は慣れるに従って短くなってきますので、最初はあせらずじっくりはんだを溶かし込むのがコツです。

■プリント基板のはんだ付けの方法

プリント基板に部品を取り付けるためのはんだ付けは、次の手順で行います。

① パターンや部品のリードがきれいで酸化していないこと

もし酸化しているようなときは、パターンは作業前に台所用アルミたわしで磨き、部品のリードは細かなサンドペーパーやヤスリなどで磨きます。

参考
・リード

リード

② 部品の挿入

部品のリード線を取り付け穴の間隔に合わせて折り曲げます。このときあまり部品の根元近くから曲げると部品の特性が変わってしまうこともあるので、2～3mm程度の余裕を持って曲げるようにします。

コツ リードを穴に通し、わずかにリードの間隔を広げて落下しないようにしますが、あまりきつく曲げると修正などのとき取り外せなくなってしまうので、真っ直ぐに近い状態としておくのがコツです。また部品の極性のあるものに注意して挿入します。極性のある部品には、電解コンデンサ、ダイオード、トランジスタ、IC（ICソケット）、発光ダイオードなどがあります。

注意
電解コンデンサ、LEDなど、極性のあるものは向きに注意すること。

③ 予備加熱をする

はんだこての先を部品とパターンの両方に接するように当てて、リードとパターンを熱します。

参照
・②～⑥の手順 → 図4.4.1

④ 糸はんだを一緒に当てて溶かし込む

はんだこてを当てたまま、熱した部分に糸はんだを当てれば自然に溶けますが、あまりたくさんのはんだを溶かさないようにします。

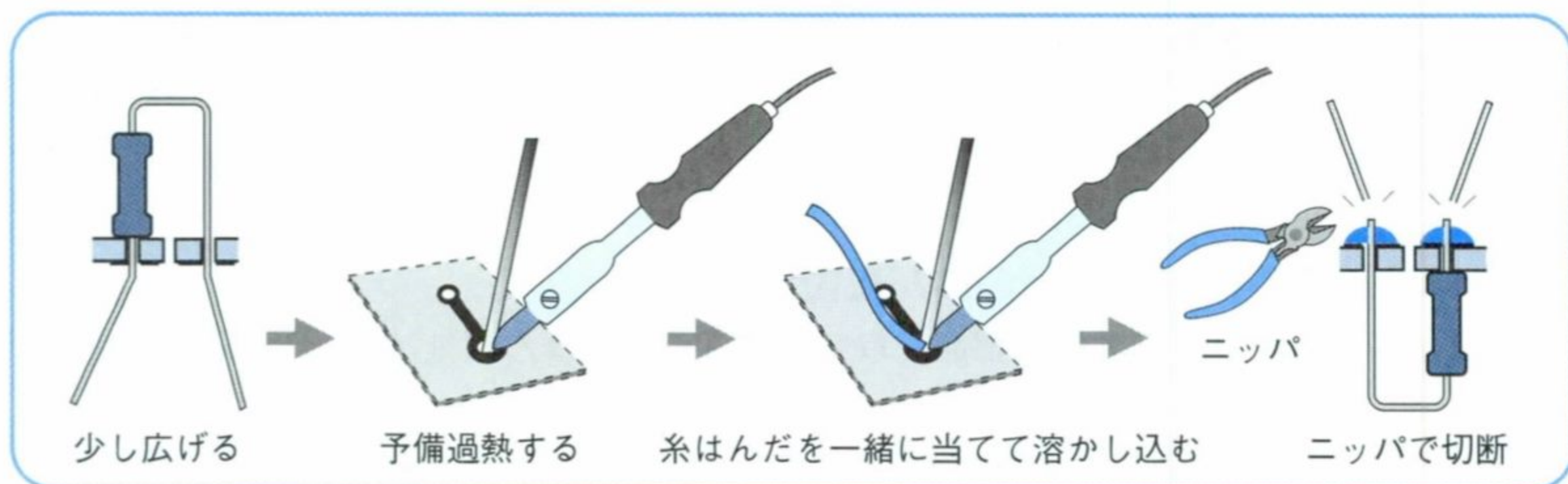
⑤ はんだをなじませ終了

はんだが水を流したように溶け、周りにいき渡ったらこてを離し、ちょっと待ってはんだが固まったら終了です。

アドバイス
動作不良の90％がはんだ付けの不良だといわれています。「目玉」「いもはんだ」などしないように注意してはんだ付けしてください。

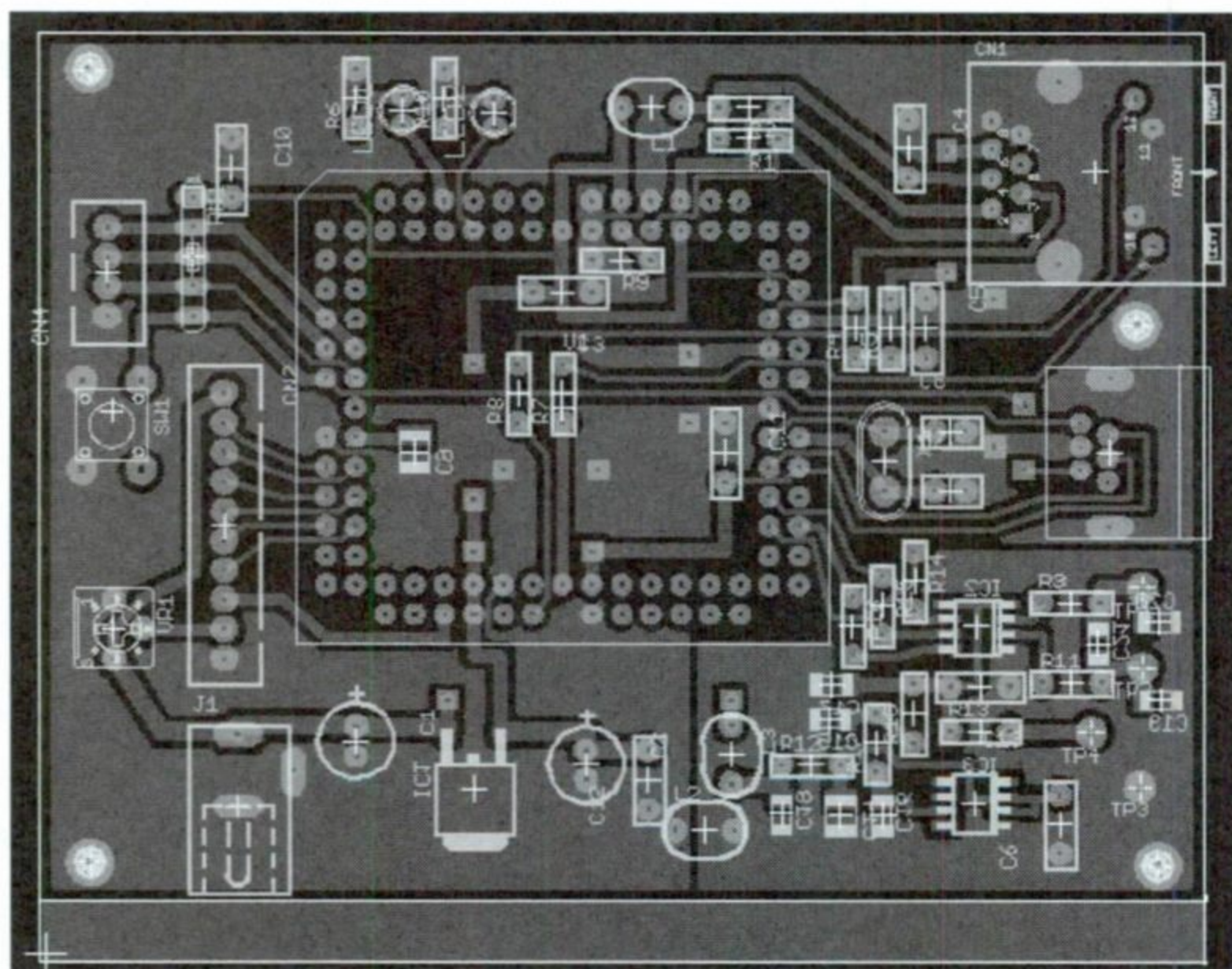
参照
・はんだ不良 → p.263

⑥ リード線の余分をニッパで切断する

抵抗やコンデンサなどのリード線は、はんだ付けをしながら、ひとつずつ、付けては余分なリードをニッパで切断するということを繰り返します。あまりリードは長くせず、短め（1～2mm程度）に切断します。

◆図4.4.1　はんだ付けの手順

⑦ 実装内容のチェック

はんだ付けが完了したら、回路図と照らし合わせながら確認していきます。

コツ このとき図4.4.2のようにパターン図に部品実装図を加えた図を印刷してチェックすると間違いなく確実にできます。

◆図4.4.2　部品実装図によるチェック

⑧ はんだ付けのやり直し

間違って部品を取り付けたような場合には、**はんだ吸い取り器**を使って次の手順で交換します。

方法

- はんだこてを取り外す部品の基板上のはんだ部分に当てて、はんだを十分溶けた状態にする。
- こてを当てたままで、吸い取り器を当てがい、はんだこてを離した直後に吸い取る。
- すべてのリードの吸い取りが完了したら、部品をペンチなどではさんで引っ張って取り外す。
- 抜いた後の基板の穴が完全にあいていないときは、再度こてを当てて溶かしたあと、もう一度吸い取って穴をあける。

参照
・はんだ吸い取り線
→ p.223

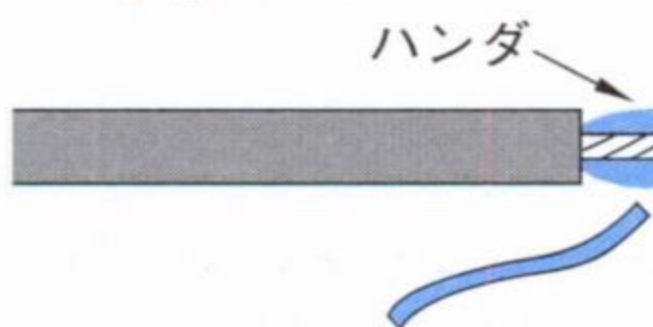
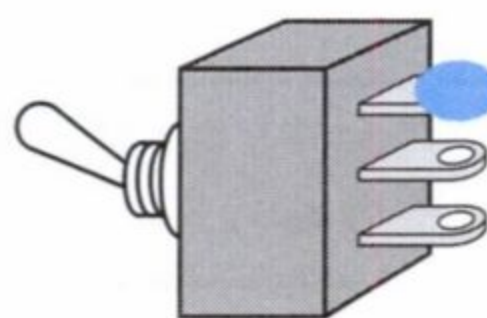
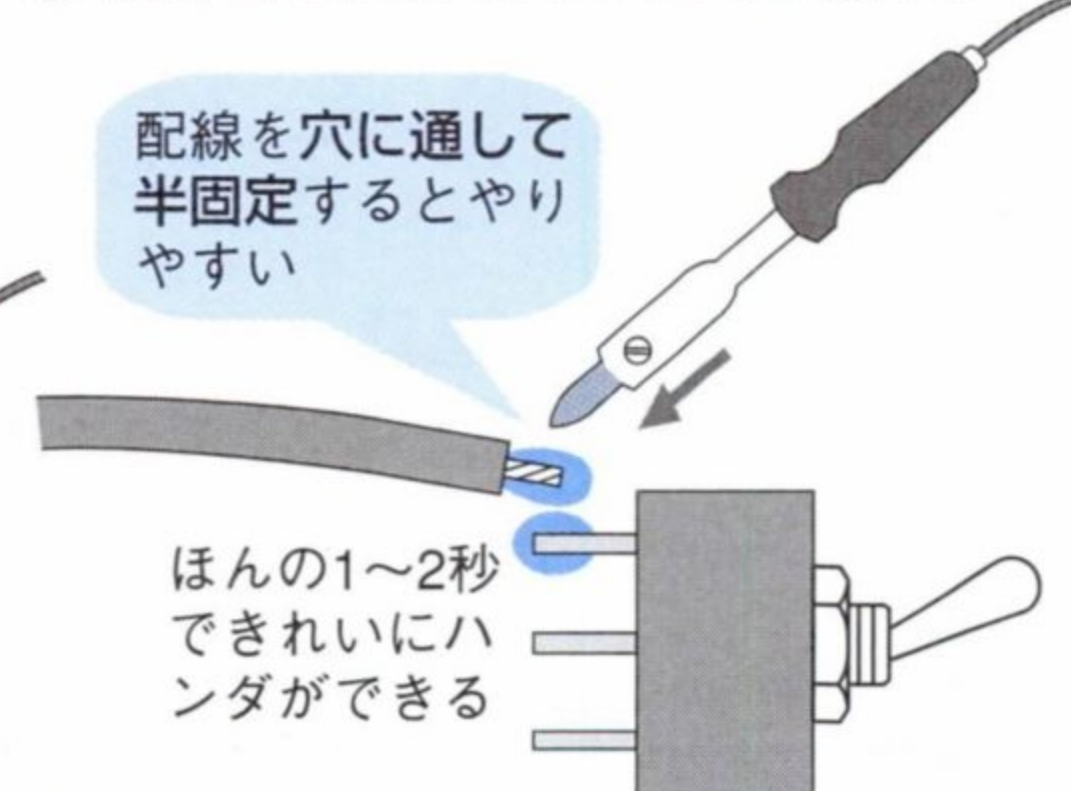
⑨ はんだ吸い取り線を使う場合

はんだ吸い取り器の代わりに、はんだ吸い取り線を使って部品を取り外すことができます。

方法

吸い取り線を取り除きたい部品のランドの上におき、はんだこてをその上から当ててはんだを溶かせば、吸い取り線に溶けたはんだが吸い取られ、部品がはずれるようになる。

■線材のはんだ付けの方法

線材を使って配線するときのはんだ付けの方法です。このときのはんだ付けの手順は図4.4.3のようにします。

◆図4.4.3　配線のはんだ付けの仕方

アドバイス

アドバイス

線材は、あらかじめ予備はんだしておきます。

① 線材の被覆をむき芯線を撚（よ）る

線材が太いときは撚り合わせた方がまとまりますが、細いときはそのまま予備はんだをした方がきれいにまとまります。

②「予備はんだ」ということで線材の先をはんだ付けする

線材の先をはんだ付けしてまとめてしまいます。こうすると穴に挿入するときなど、芯線がばらばらにならずスムースに入れられます。またはんだ付けも手早く行うことができます。

③ 端子の穴に線材を通し半固定して、こてをそこに当てて熱する

このあとは抵抗などの部品と同じ扱いになりますが、手で持っていると動いてしまって、はんだ付けがきれいにできないので、芯線を端子の穴に通して半

固定し、そのあとでこてを当てます。

④ 糸はんだをさらにあてて十分溶かし込む

こてを当てたまま熱した部分に糸はんだを当てればすぐ溶けて流れ込んでいきます。はんだが水のように流れて周りにいき渡るまでこてを当てておきます。

⑤ はんだがいき渡ったらこてをはずす

はんだが線材と穴の隙間に流れ込んでいったらそこでこてをはずします。しばらくしてはんだが固まったら手を離して完了です。

4-4-2 表面実装部品のはんだ付けの仕方

用語解説
・フラットパッケージ
表面実装タイプのもの。

最近は、ICや部品も表面実装のものが多くなりました。高機能で便利で、使いたいなと思うものほど小さな**フラットパッケージ**になっています。そこでこれらのフラットパッケージ部品のはんだ付けの方法を説明します。

■必要な道具

表面実装をうまく行うために必要な道具は表4.4.2のようなものです。基本的にはんだ付けですから、はんだ付けに必要な道具と共通します。

◆表4.4.2 表面実装部品のはんだ付けのための道具

名称	外観	用途・選び方
はんだこて		先の細めの22Wか25WのIC用はんだこてを使う。できるだけ先が細い方がよいが、あまり細いと熱が伝わらなくなる。
はんだ吸取り器		ブリッジしたときの余分なはんだを吸い取るためなので、先の細いタイプがよい。
・写真：左 はんだ ・写真：右 こて台		・写真：左 フラットパッケージ基板用には0.6mm φの細目が扱いやすい。 ・写真：右 重量のあるものの方が安定感があって安全。こて先清掃用のスポンジがついているものを選ぶ。スポンジには水を含ませて常時こて先をクリーニングしながら使う。
基板用フラックスと洗浄剤	左側が**フラックス** Goot社：BS-75B 右側が**洗浄剤** Goot社：BS-R20B	**ルーペ** 写真のフィルムチェック用のルーペ。拡大鏡。 ガラスレンズのものがよい。 拡大率が10倍のもの。
ピンセット		表面実装部品など特に小型の部品をつかむのに使う。

■フラットパッケージICの取り付け方

小さいな～

フラットパッケージのICをはんだ付けするときの作業手順は下記のようにします。周囲の部品を取り付ける前に作業した方が、フラックスの洗浄が楽にできます。

① 予備はんだ付け

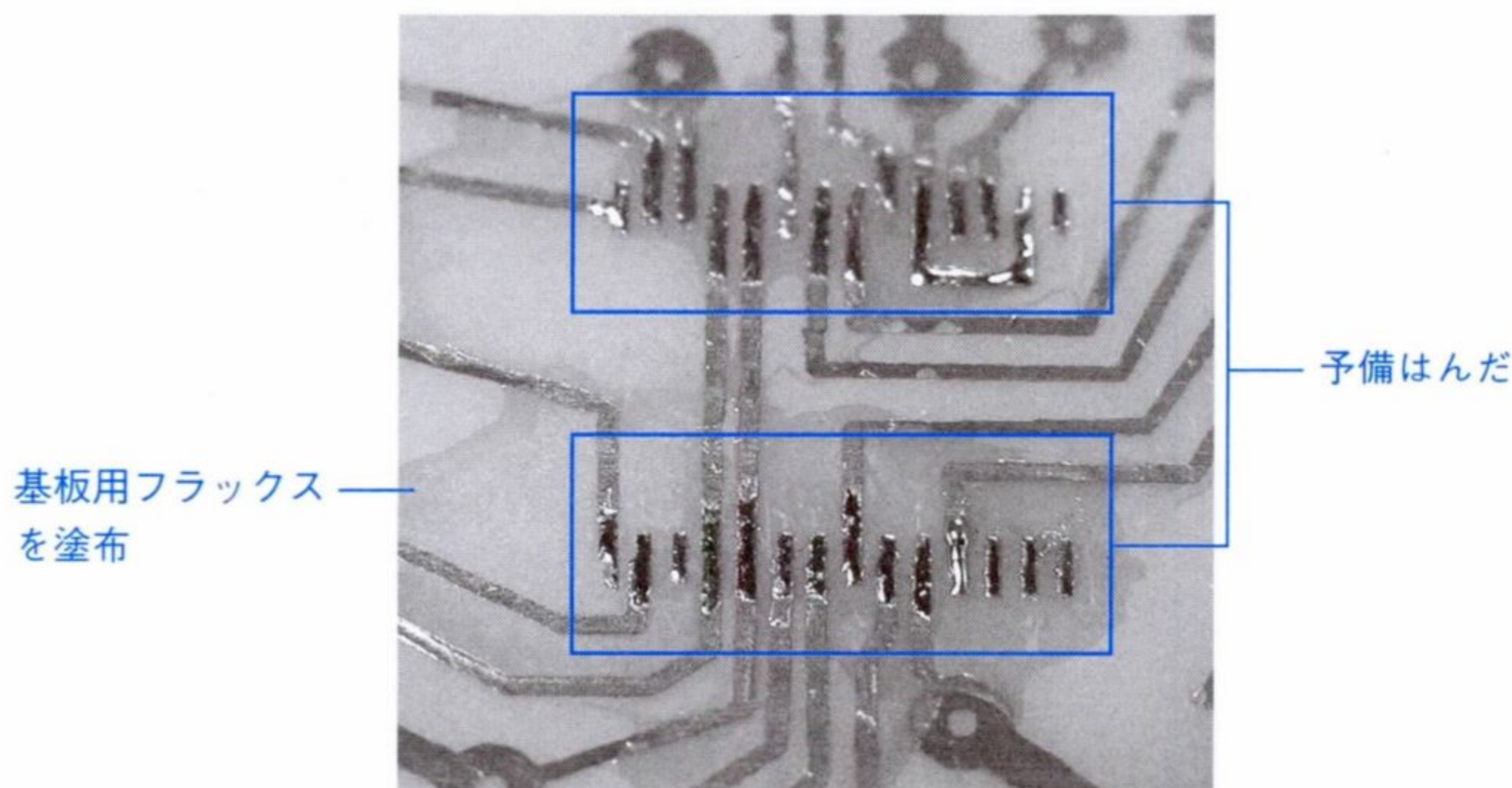
変換基板などを購入したときには、すでにはんだメッキされていますからこれは省略できますが、自作基板の場合には、ICのランドに事前にはんだメッキをしておくと効率よくはんだ付けができます。

コツ ①最初にプリント基板用フラックスをICランドに塗布します。

②ICのランド部にはんだメッキをします。

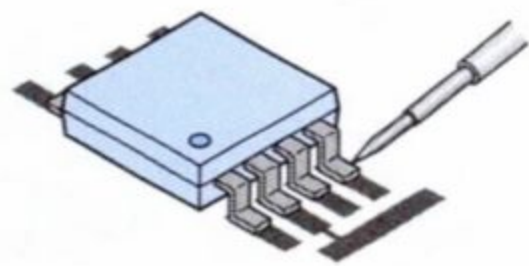
フラックスのお陰で、はんだをつけたこて先を当てると、スッとはんだが広がっていきます。フラックスがあると、はんだが盛り上がらないのできれいなメッキができます。

予備はんだ

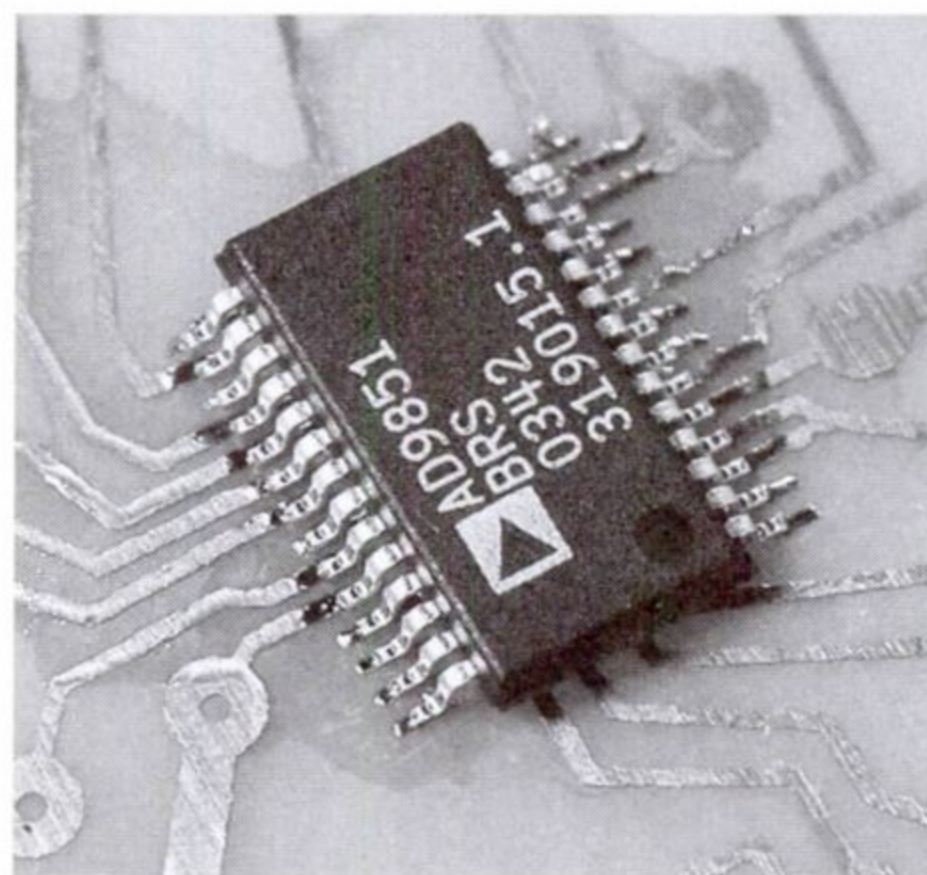
基板用フラックスを塗布

◆写真4.4.1　予備はんだ

② ICの位置を合わせ仮止めする

アドバイス

向きを間違えないように、ランドの位置にピッタリあわせ、仮止めします。ルーペーで位置を確認し、位置がずれていたら修正します。

ICの向きを間違えないようにしてランドの位置にぴったり合うように配置し、対角線上にある2ピンをはんだ付けして仮止めします。仮止めは、こてを軽くピンに載せて押すだけでできます。この状態ではまだ簡単にICの位置を変更できるのでルーペで拡大しながら位置の確認と修正をします。

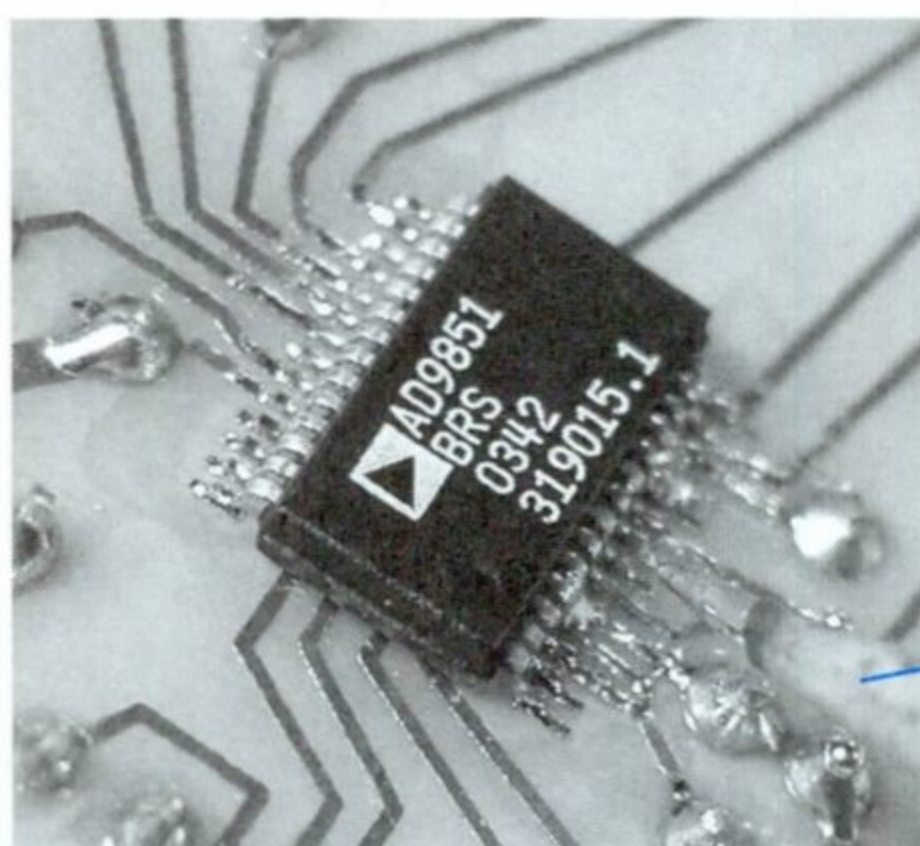
コツ ICの向きを確認し、ランドの位置にぴったり合うように配置します。次に対角線上にある2ピンをはんだ付けして仮止めします。

AD9851 BRS 0304.2 3190015.1

◆写真4.4.2　仮止め

③ フラックスを塗布後全ピンはんだづけ

位置のずれを確認できたら、この状態でフラックスを全ピンに塗布します。軽く塗布すれば、ピンとパターンの隙間に入り込むので十分です。

フラックスを塗布したら、細めのヤニ入りはんだをピンにあてて、こてではんだを溶かし込んでいきます（0.6 φ 程度のはんだがよい）。はんだがブリッジしないようにしたいところですが、ブリッジしても構いませんのではんだを溶かしながらはんだ付けします（ブリッジは後で修正できます）。こての先で1本ずつはんだ付けしていけば、フラックスの効果でほとんどブリッジはしないと思います。

参照
・ブリッジ → p.263

先の細めの22Wか25WのIC用のはんだこて

◆写真 4.4.3　はんだ付け

④ ブリッジの修正等と確認

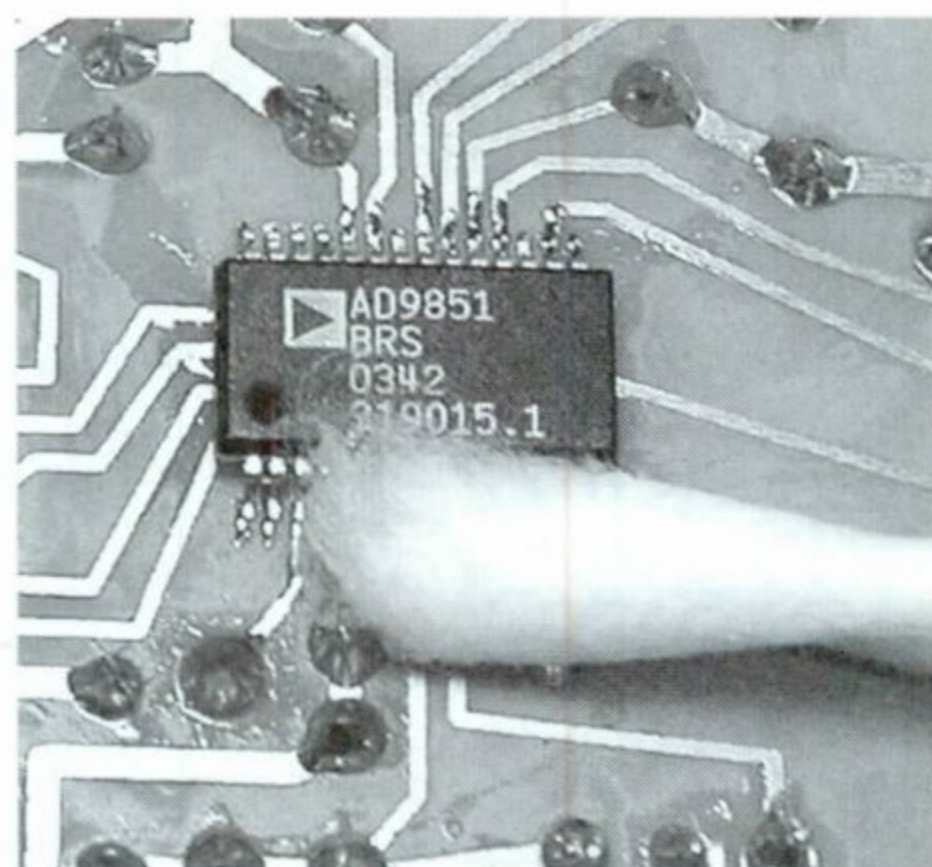
全ピンのはんだ付けが完了したら、基板を縦にして、ピン側を下にしながら再度はんだを溶かしなおして余分なはんだを取り除きます。このとき、もう一度フラックスを塗布し、こて先をこて台のスポンジできれいにしながら行うと、溶けたはんだがこて先に移ってピン間のブリッジが自然に溶けてなくなります。何度かルーペで拡大してブリッジや、接続状態の確認をします。

どうしてもブリッジが取れない場合は、はんだ吸い取りで余分なはんだを吸い取ってから再度フラックスを塗布して前述の作業を繰り返します。

⑤ フラックスの洗浄除去

アドバイス
フラットパッケージの電子部品は、周囲の部品を取り付ける前に取り付けます。

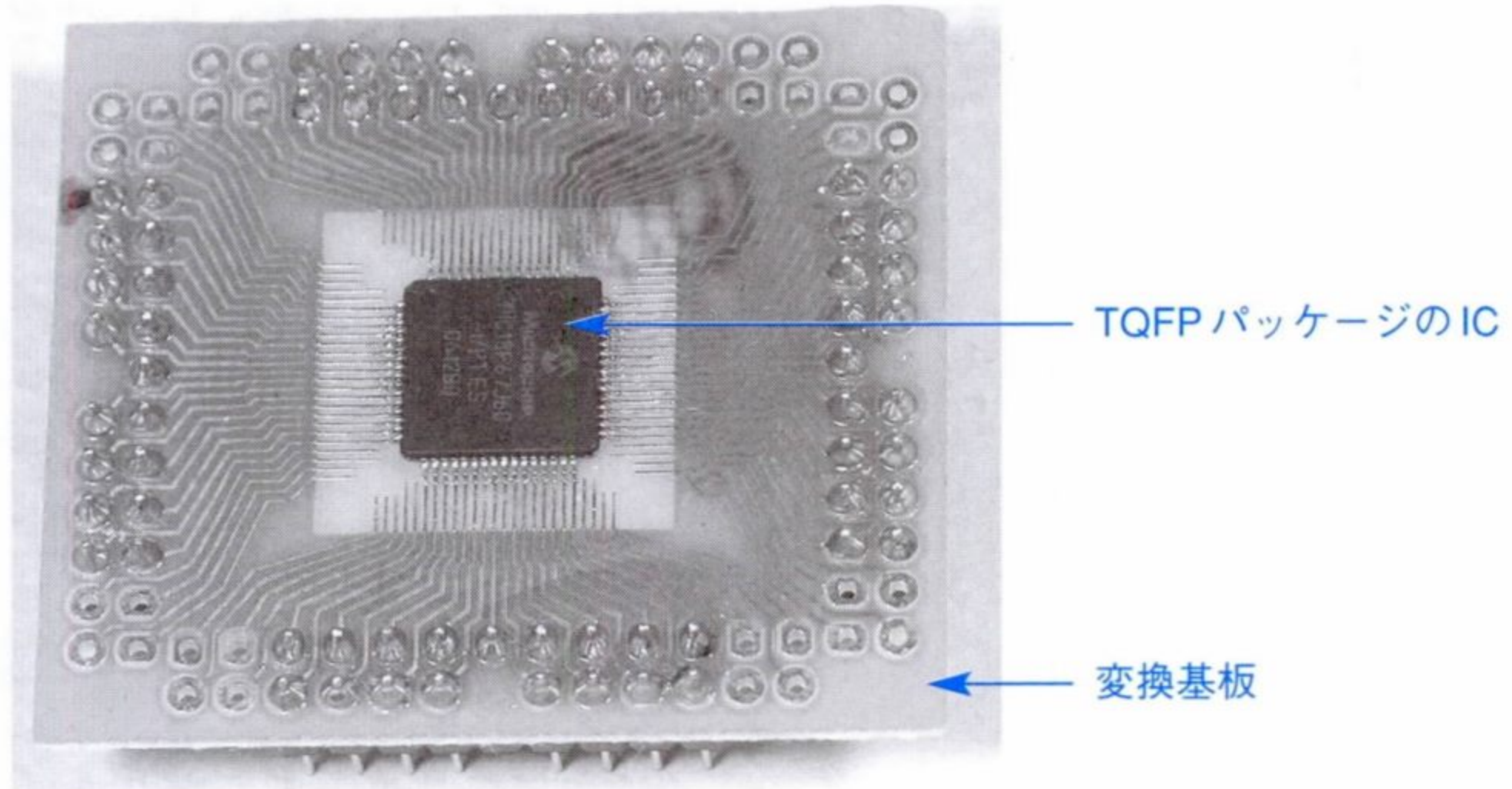
はんだ付けが完了したら、余分なフラックスを洗浄して除去します。洗浄剤を刷毛で十分塗ったあと、綿棒でこすり落とします。綿棒側に洗浄剤を染み込ませて拭い取る方法もベターです。

コツ 周囲の部品を取り付けてからだと作業し難いのでICは先に取り付けた方がよいでしょう。

◆写真 4.4.4　フラックスの除去

用語解説
・TQFP
フラットパッケージの形状の一つ。

⑥ 変換基板の利用

TQFPパッケージなど、0.5mmピッチのピン数の多いICは、変換基板を使うと比較的容易に取り付けができます。取り付け方も前述の手順と同じ方法で行います。

TQFPパッケージのIC
変換基板

◆写真4.4.5　変換基板を利用する

■チップ部品の取り付け方

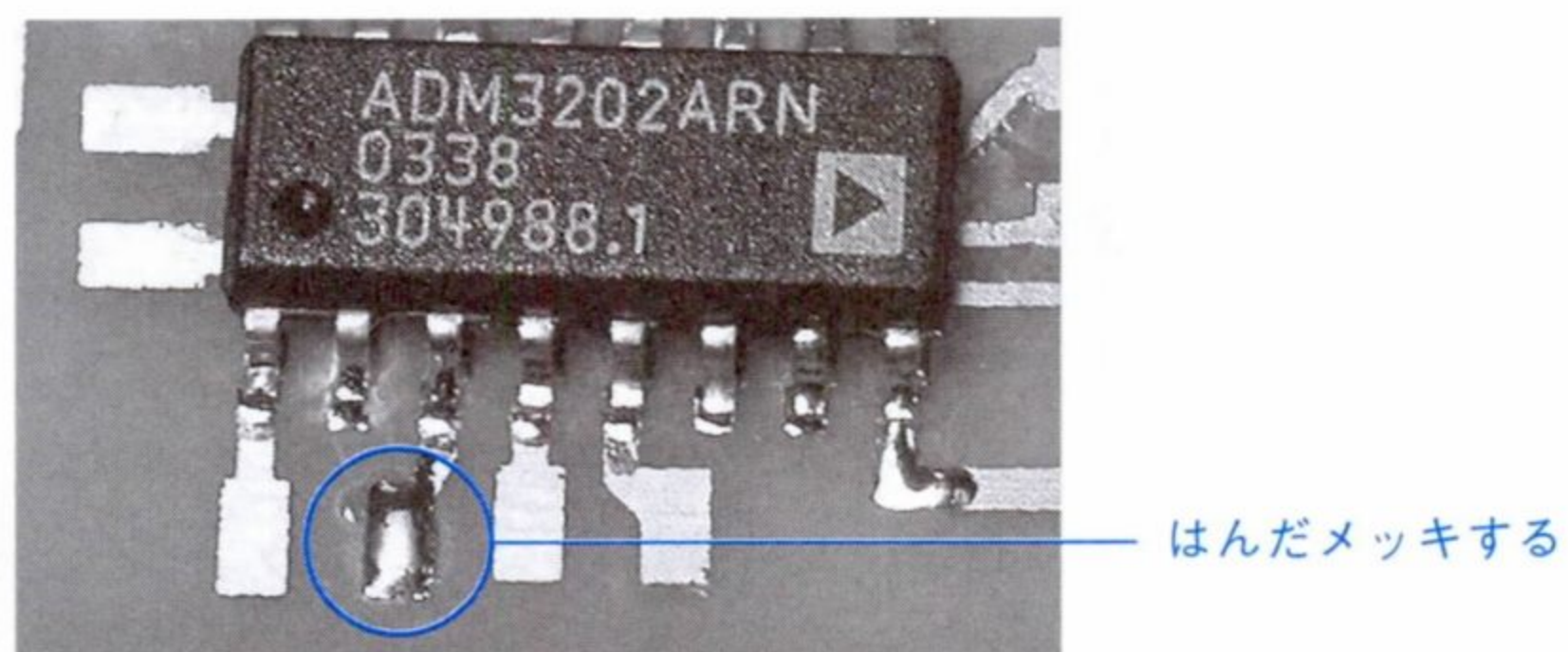
チップサイズの抵抗やコンデンサ、ダイオードなどは、下記の手順ではんだ付けすると、取り付けやすいと思います。

アドバイス
はんだメッキ（予備はんだ）します。

① 取り付けるランドの片側に予備はんだをする

最初に部品を仮固定するため、まずランドの片側にはんだメッキをします。このときあまりはんだが少ないと固定しにくいので、すこし盛り上がるくらいにします。

コツ　ランドの片側にはんだメッキします（すこし盛り上がるくらいに）。

ADM3202ARN
0338
304988.1
はんだメッキする

◆写真4.4.6　予備はんだ

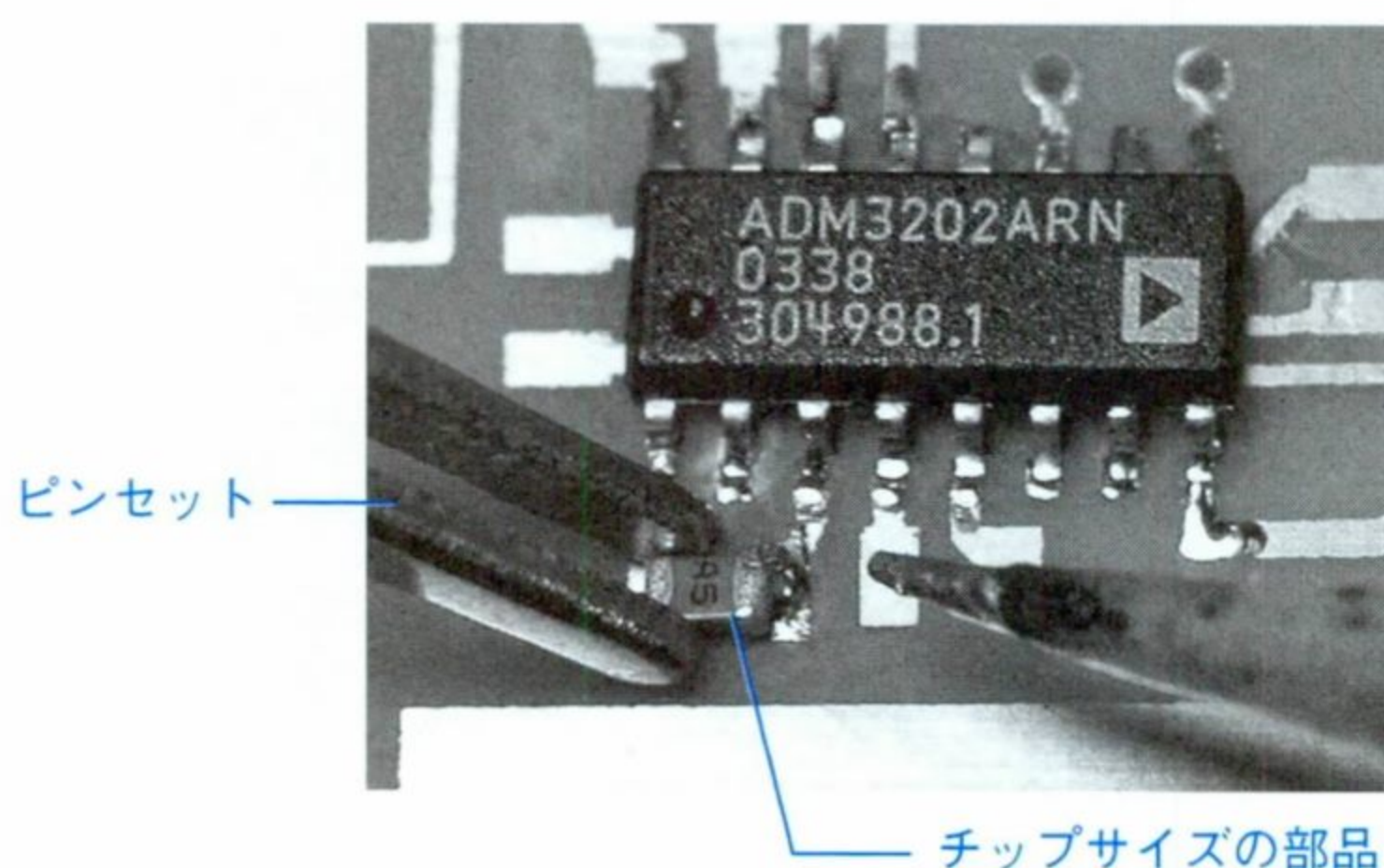
アドバイス
予備はんだしたランドにチョンと付けます。

コンデンサ
予備はんだ

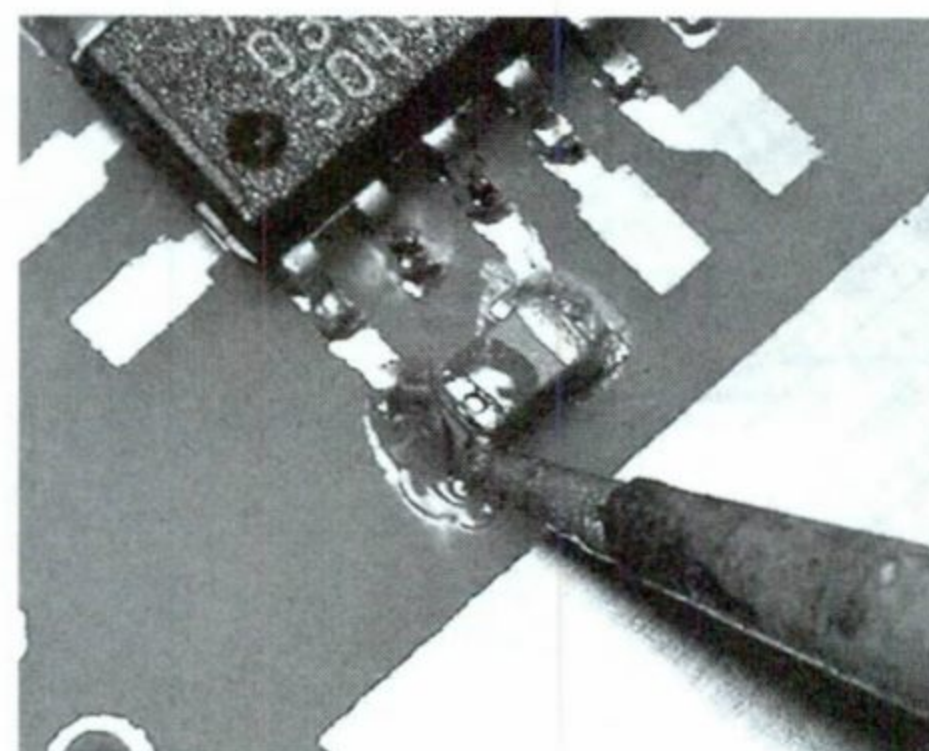
② 部品の仮固定

部品をピンセットで挟みながら、予備はんだしたランドにチョンと付けます。動かない程度に固定すればOKです。

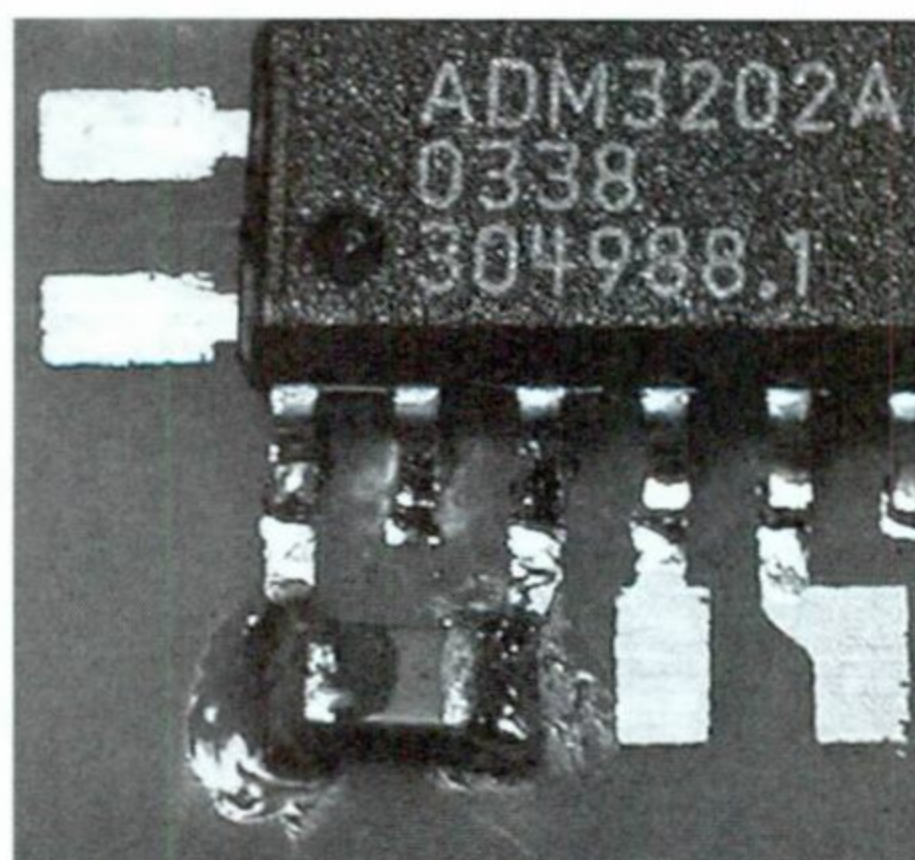
コツ 仮り付けしたとき、部品が浮き上がっていたら、今度は、ピンセットか指の爪で上から部品を押さえて再度チョン付けします。この段階では何度でもやり直しできますから、ぴったりとなるように調整しながら仮止めします。

ピンセット
チップサイズの部品

◆写真4.4.7 仮固定

③ 反対側のはんだ付け

チョン付けで固定したら、今度は反対側の方をきちんとはんだ付けします。これは一応部品が固定されていますから、はんだを流し込みながら行えば楽にできると思います。

◆写真4.4.8 はんだ付け

④ 仮固定を本固定にして完成

チョン付けした側をきちんとはんだ付けすれば、これで取り付け完了です。

◆写真4.4.9 固定して完成

4-4-3 ケース加工のノウハウ

ケースは工作の仕上げとも言うべきものです。回路設計をし、プリント基板に組み立て、苦労して動いたときの感動をきれいな形で残したい。誰しも同じ思いを抱くのではないでしょうか。見事なケースに納まった製作品がきちんと動作する、これが私達、工作を趣味とする者の「こだわり」でもあります。

写真4.4.10、写真4.4.11はケースに収めた状態のものです。やはりケースに収めた方ができ栄えは比較にならないほど素晴らしいものになります。また耐久性という意味でも、ケースに入れておけば何十年でも使い続けることができます。市販のキットでも、ケースに実装すれば、立派な製作品となります。

さらに高周波を扱う回路などでは、ケースに入れなければまともには動作しません。これはケースがシールド効果や、固定による安定化の効果を果たしているわけで、ケースなしでは考えることはできないものです。

◆写真4.4.10　ケース実装例1

◆写真4.4.11　ケース実装例2

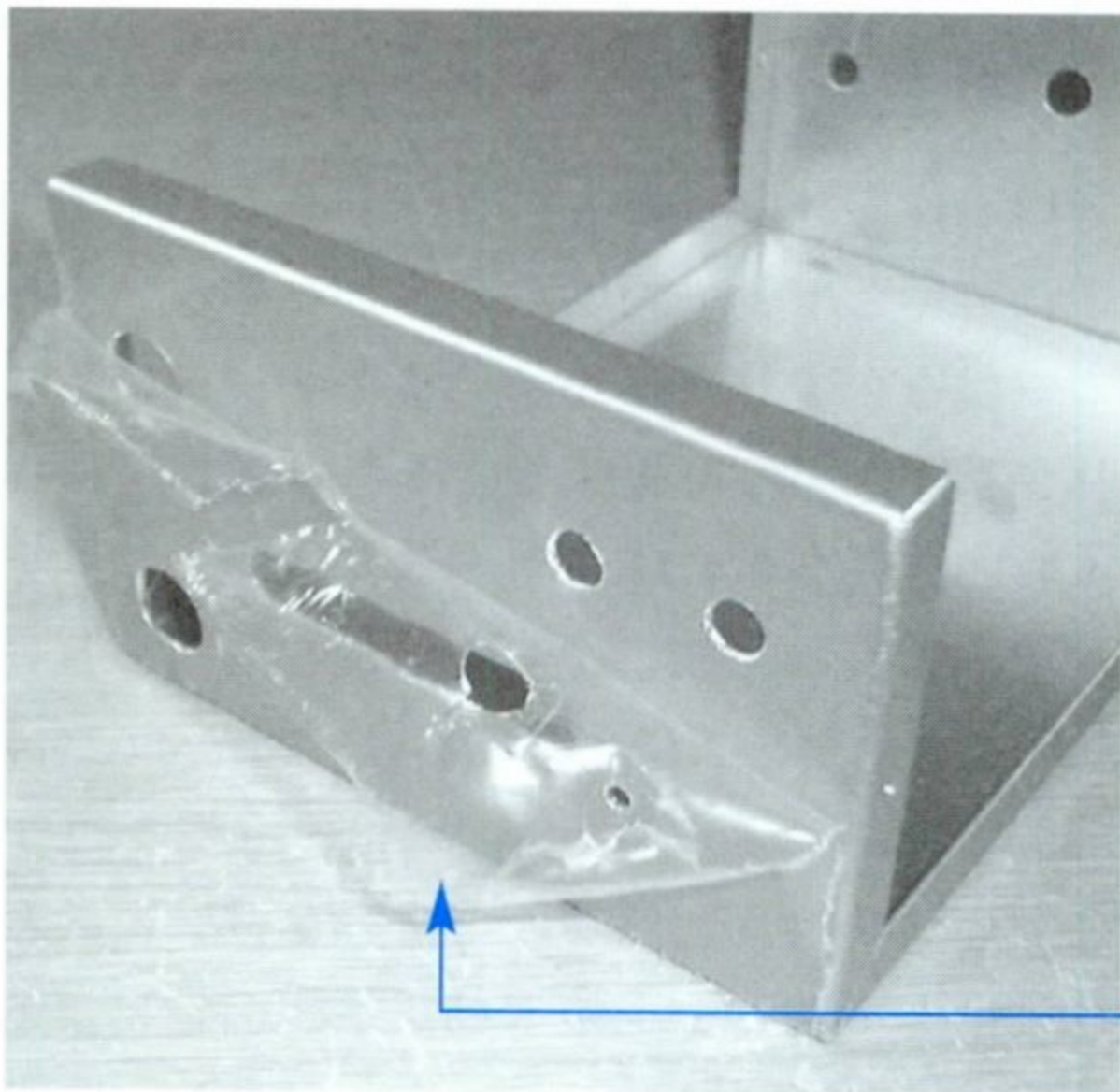
それでは、このこだわりのケース加工にはどんな作業が含まれるのか見ていきましょう。

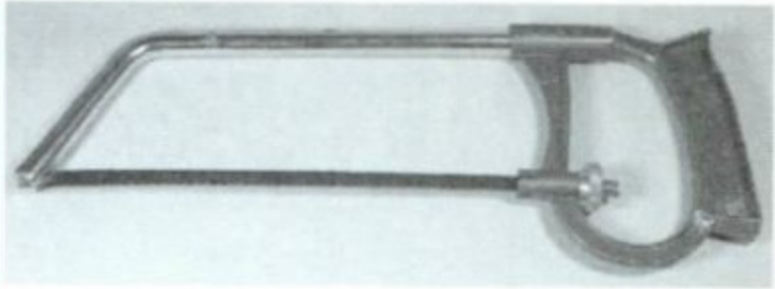
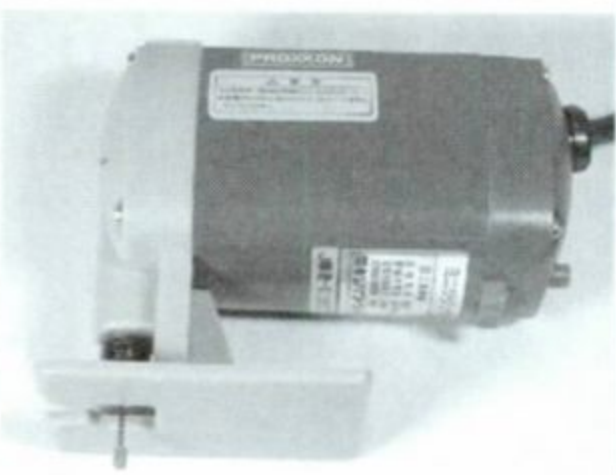
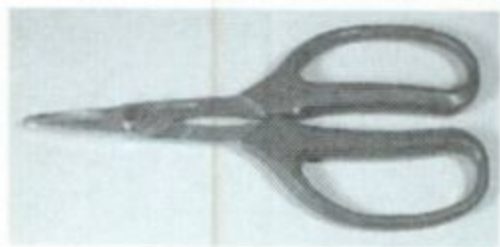
電子工作でのケース加工の基本は、次の4つにまとめられます。以下では4項目のそれぞれのノウハウについて紹介していきます。

① **切断と曲げ**：材料にはアルミ、アクリル、基板などがあるが、それぞれの切断方法と曲げ方について道具、ノウハウを紹介。
② **穴明け**：各材料に丸穴や角穴をあけるための道具とノウハウを紹介。
③ **取り付け**：加工が完了したケースに、必要な部品を取り付ける際の方法とノウハウを紹介。
④ **飾り付け**：できあがったケースのパネル面などの飾り付けに関するノウハウ。

常識
ケースに貼り付けてある保護シートは、加工が完了するまで剥がさない。

ケース加工のコツ ケースにもともと貼り付けてある保護シートは、加工が完了するまで剥がさないようにします。保護シートは、穴あけや、ヤスリがけのときなどに、うっかり手を滑らせたり、穴あけのときの切りくずで表面に傷をつけたりすることから、柔らかいアルミパネルの表面を守ってくれます。

写真4.4.12のように、加工が終わって飾り付けをするときまで、剥がさないようにしましょう。

保護シート

◆写真4.4.12 保護シートは最後に剥がす

4-4-4 加工法（切断）

ケースを加工する際、市販のケースを使っていても切断加工が必要な場合があります。例えば、内部に部品取り付け用のアルミL型板の長さを合わせるときや、前面化粧用のアクリル板や放熱用アルミ型材などは、どうしてもケースや穴に合わせるために適当な大きさに切る必要があります。

■切断用の道具

このような切断に使う道具には表4.4.3のようなものがあります。それぞれ使い道があり、使い分けることで上手な工作ができますが、全部が必要というわけでもありません。必要になったら、揃えていけばよいでしょう。

◆表4.4.3 切断用の工具

名称	外観	用途・選び方
アクリルカッター		アルミ、プリント基板などの切断用。刃の形に特徴あり。
金のこ（小型）		アルミ、アクリルなどの切断用。刃だけでも使える。
小型ジグソー		写真は小型ジグソーで、自在曲線用薄板切断に便利。
万能はさみ		薄手の金属、アクリル、銅板など何でも切れ便利。
アルミ定規		切断時の補助に使うため、金属製が丈夫でよい。
罫書き針ポンチ		切断境界に線を引く。

■切断方法

アルミ板はせいぜい1mm程度の厚さまでが電子工作でよく使うものなので、切断は比較的楽です。むしろ意外と苦戦するのが、アクリル板の切断です。電子工作に使うアクリル板は3mmくらいの厚さまでなのですが、3mmの厚さは切断するには結構分厚く大変です。このアクリル板の切断法のいくつかを紹介します。

① けがき

切断する前に、切断する境界がはっきりわかるように罫を書いておく必要があります。直線を引くには定規が必要ですが、工作にはアルミなどの金属製の定規を用意しておくと、あとの切断時にも補助用として使えて便利です。

線を引くには、**罫書き（けがき）針**か、先端の尖った**センターポンチ**を使います。また油性のペンを使っても大丈夫です。市販のアクリル板やアルミ板によっては、傷防止用に保護シートが貼り付けてあるものがありますが、保護シートは最後まで剥がさないようにして工作します。

アドバイス

定規はアルミなどの金属製のものを使用してください。

②～⑤まで切断方法を紹介しますが、まずけがき線をいれておきます。

おう
線が曲がってるぜ

② 金のこによる切断①

一番手軽なのが**金のこ**による切断です。しかし普通の金のこには弓状の枠が付いています。幅のある板を切断するときにはこの枠が邪魔になり、やりずらいこともあります。この場合は金のこを寝かせて30度くらいの角度にして使います。直線の切断が主ですが、大きなRの曲線なら切ることができます。

③ アクリルカッターによる切断方法

比較的幅広の薄板を直線で切断するときには、**アクリルカッター**を使うのが簡単です。写真4.4.13のように、金属定規でしっかりと補助してカッターで溝（みぞ）を付けていきます。

アドバイス

金属定規でしっかりと補助してカッターで溝を付けていきます。

コツ 最初のうちはカッターにあまり力を加えず軽く溝をつけ、大体の溝が付いてから力を加えます。溝が十分についたら定規をはずして何回もカッターをかけて溝を深くします。

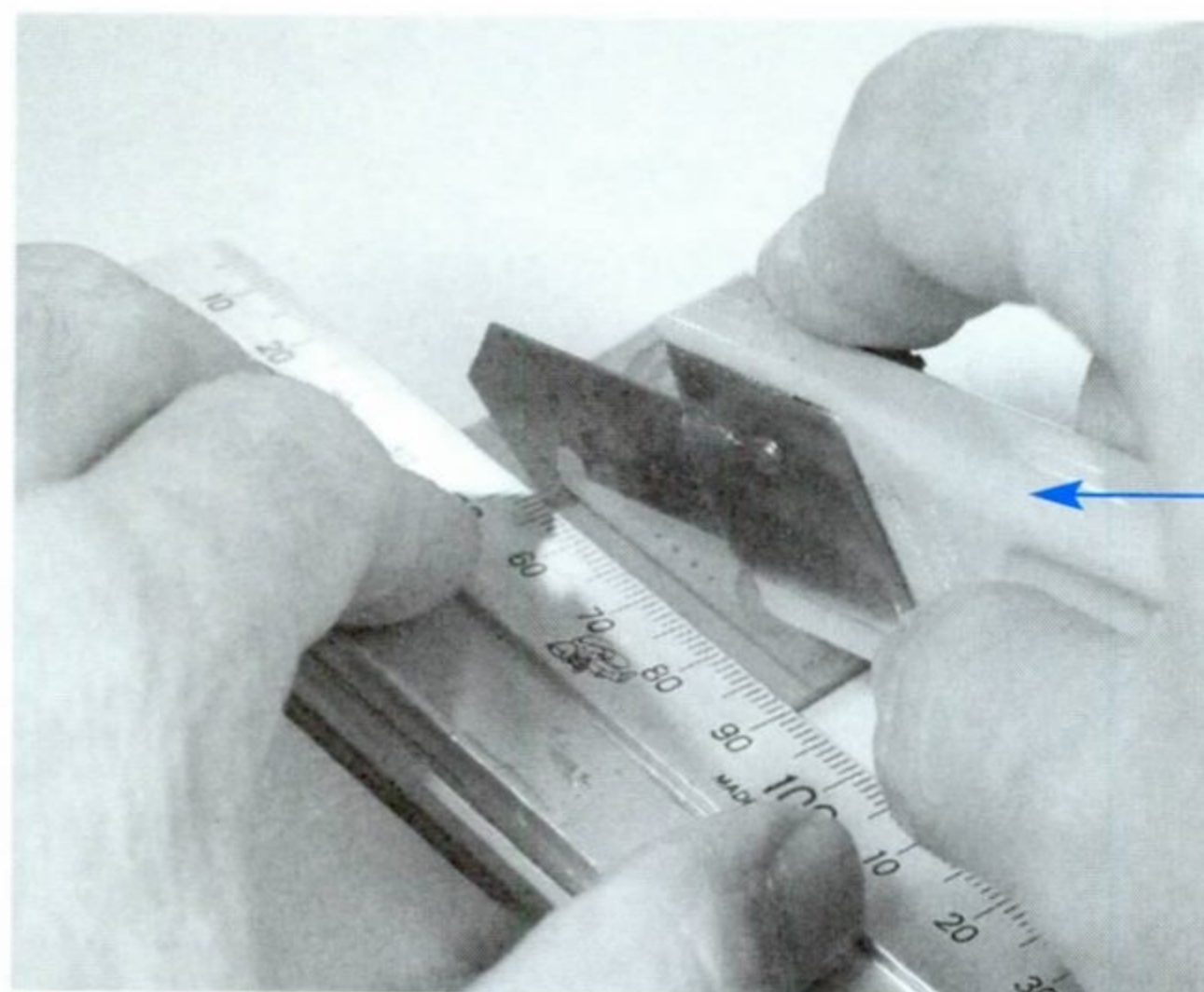
注意すること 最初からカッターに力を加えると、補助定規に沿った線でなく、別の方向に刃がそれてしまうことがあります。また、最初に溝をつけるのは裏側になる方にします。万一傷をつけても隠れる方ということです。

半分くらいの深さの溝が付いたら、今度は表側からカッターを使います。

コツ 切断する対象の端面で、表裏両面の溝位置が合うように確認して、表面に

溝を付けます。

用語解説
・バリ
余分な部分。

両面に溝がついたら、机の端などに溝線を合わせて板を折り曲げます。さらにこの折り曲げを反対側に折り曲げることを繰り返せば、板の切断ができます。切断後は切断面をヤスリなどでバリを取りきれいにします。

アクリルカッター

◆写真4.4.13　アクリルカッターによる基板の切断

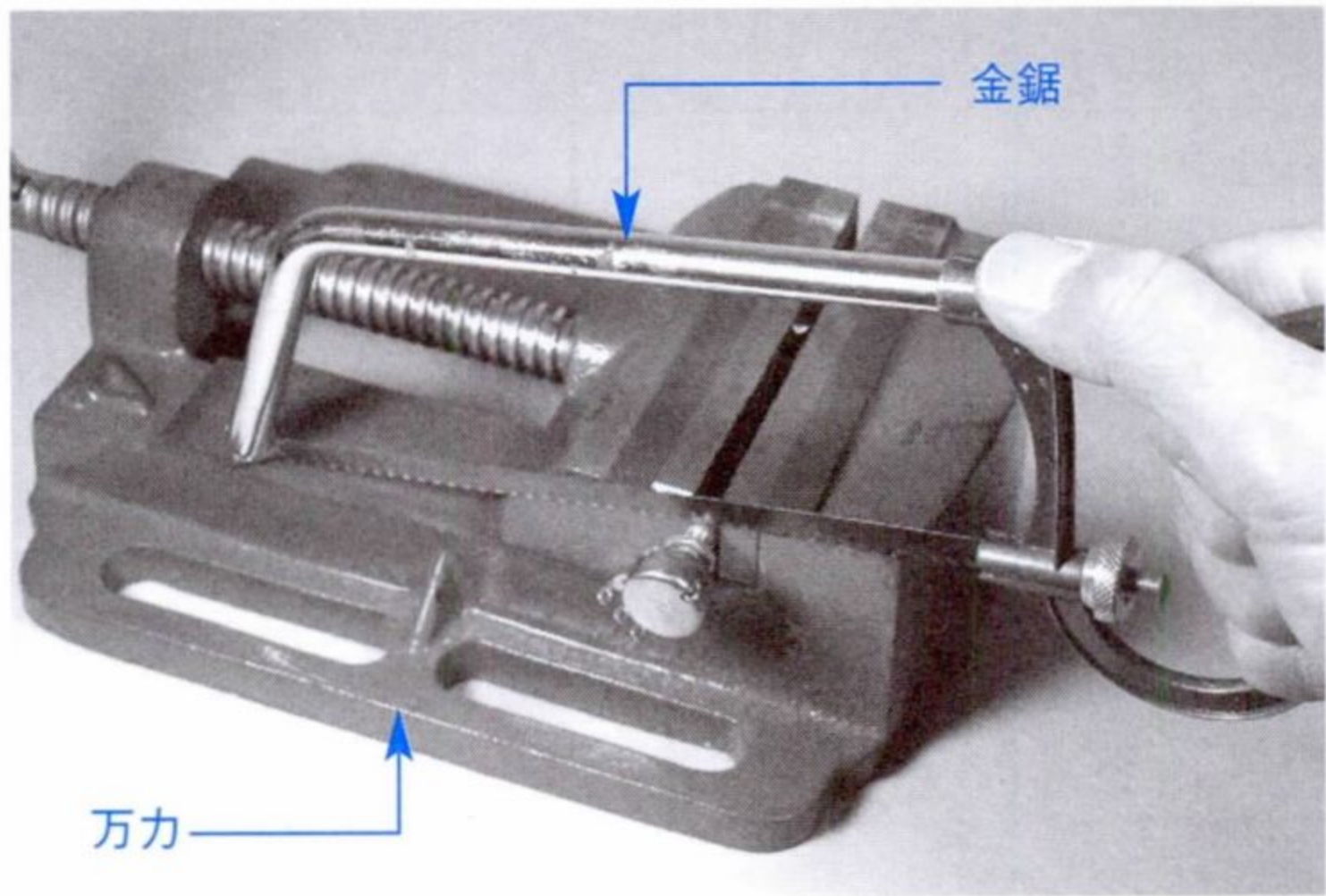
④ ジグソーによる切断

最近は電動鋸であるジグソーも安価に手に入れることができるようになりました。機会があったらぜひ入手しておきたい道具です。ジグソーを使うと容易に切断ができますが、刃により真っ直ぐに切断するのはなかなか難しくコツが必要です。表4.4.3のジグソーはいわゆる糸鋸タイプのジグソーで、曲線切断に向いているものです。ジグソーを使うときには、ジグソー側を作業台に固定し、材料側を動かして切断する方が作業しやすいと思います。

⑤ 金のこによる切断②（アルミ棒、アルミ型材）

常識
万力でしっかり固定して作業を行う。

アルミ棒や、アルミ型材でカッターでは切れないものは、金のこで切断します。このとき固定方法をしっかりしないときれいな切断はできません。そこで万力(まんりき)を使って、切断するものを固定します。筆者がよく使っている万力は据え置き型のもので、比較的小物の固定には便利なものです。写真4.4.14は万力で固定しながら金のこで可変抵抗の軸を切断しているところです。

コツ　切断するものを万力で固定して行います。

◆写真4.4.14　万力と金鋸による切断

4-4-5 加工法（穴あけ）

電子工作でケースを加工する際、最もよく行うのがこの穴あけ加工です。市販のケースを使った場合、何か部品を取り付けるときは必ず穴が必要になります。したがって、電子工作が上手にできるようにするには、はんだ付けと、この穴あけの腕を磨くことが必須となります。

■穴あけに使う道具

穴あけ加工が上手くできるようにするには、腕も大事ですがまずは道具です。工作はやはり道具次第ということになります。穴あけに使う道具には表4.4.4のようなものがあります。それぞれ使い道があり、使い分けが必要ですが、全部の道具は必要ありません。

◆表4.4.4　穴あけの道具

名称	外観	用途・選び方
・写真：左 電動ドリル ・写真：右 ドリル刃		・写真：左 穴あけには必須の道具。手回しドリルもあるが、最近は価格も大して変わらないので是非電動にしたい。 ・写真：右 セットで揃えると便利。 1.5mm～6.5mmが必要
バリ取り		穴のバリを取るためのもので、太いドリル刃で古いものを流用。

シャーシリーマ		タップ	
	穴を大きくするのに使う。 最大15mm程度の穴あけが可能。		自在にネジが切れるので、外観がきれいにできる。

ポンチ		ヤスリ	
	穴あけの中心に印を付ける。		平、丸、平丸の3種類で金属用。

ハンドニブラ		小型ノギス	
	主に四角の任意の穴あけに便利。		穴の寸法や軸太さの測定用で、取り付ける部品の穴あけ寸法を測るのに重宝する。

ジグソー		糸鋸	
	自在曲線用。大きなサイズの穴あけに便利。		自在の穴があけられる。

■穴あけ工作の方法

穴あけは対象ケースの材料によってあけ方のコツが異なりますが、ほとんどの場合に下記手順で行います。

① センターポンチでセンターに印を付ける

常識
穴をあける中心にポンチで印を付ける。

注意
下敷きはを硬いものを利用する。

穴をあける中心にポンチで印を付けます。こうすることで、穴の正確な位置が出せるのと、ドリルの刃の先端が滑るのを防ぐことができます。ポンチを打つときは、下に硬い下敷きを敷いて行います（柔らかいものより硬いほうがよい）。柔らかいと印を付ける周り全体が凹んでしまいます。

コツ　センターポンチで穴の中心に印を付ける際、下には硬い敷物を利用して行います。

またプリント基板などの取り付け穴は、「合わせ工事」で現物の穴に合わせて穴あけの位置にポンチで印を付けます。

コツ　ポンチを垂直に真っ直ぐ立てて印を付けます。斜めにすると穴の位置がずれてしまうので注意してください。

② 6φ以下の丸穴あけ

これには単純にドリルを使います。取り付けるものの寸法より0.2mm～0.5mm程度大き目のドリル刃で穴あけをします。電子工作でよく使う穴サイズは表4.4.5のように大部分が、3.2φと6.5φの2種類です。6.5φの穴あけの前に、3.2φで下穴をあけておくとセンターがずれずに穴があけられます。

コツ　取り付けるものの寸法より0.2mm～0.5mm程度大き目のドリル刃で穴をあけます。

用語解説
・バリ
穴のまわりにはみだした余分な部分。

穴をあけた後は、バリ取りをしてきれいに仕上げます。バリを取るには、3.2 φの穴のときは、バリ取り用に太いドリル刃を用意し、これでこそぎ取るようにしてバリを取ります。6 φの穴のバリは細めの丸ヤスリで削り取ります。このとき前面のパネルに傷を付けないよう、できるだけ裏側からヤスリをかけるようにします。

◆表4.4.5　代表的な部品と穴あけのサイズ

部品種別	必要サイズ	ドリル刃サイズ
取り付け用ねじ	M3（Mはねじサイズ）	3.2 φ
スイッチ類	M6	6.5 φ
ボリューム類	M6	6.5 φ
LEDランプ類	M6	6.5 φ

ドリルで穴あけをするときは、ドリルの刃は真っ直ぐ立て、材料はしっかり固定します。特にアルミ材は穴があく瞬間に大きな力が加わるので、最後は慎重に穴をあけることがコツです。

コツ　ドリルの刃は真っ直ぐ立て、材料はしっかり固定します。最後は慎重に穴をあけます。

③ 6 φより大きい丸穴あけ

6 φより大きい丸穴をあけるには、まず6 φの穴をドリルであけたあと、**リーマ**を使って穴を広げます。

コツ　このときあまり急いで広げようとして力を入れすぎないようにします。力が入り過ぎると、広げた穴が円形にならずに、凸凹の穴になってしまいます。焦ってはダメです。

リーマで広げたあとは、ヤスリを使ってバリを取って仕上げをします。また楕円など、円形でない穴が必要なときにもヤスリで広げて作ります。

大きな穴が必要なものには表4.4.6のようなものがあります。

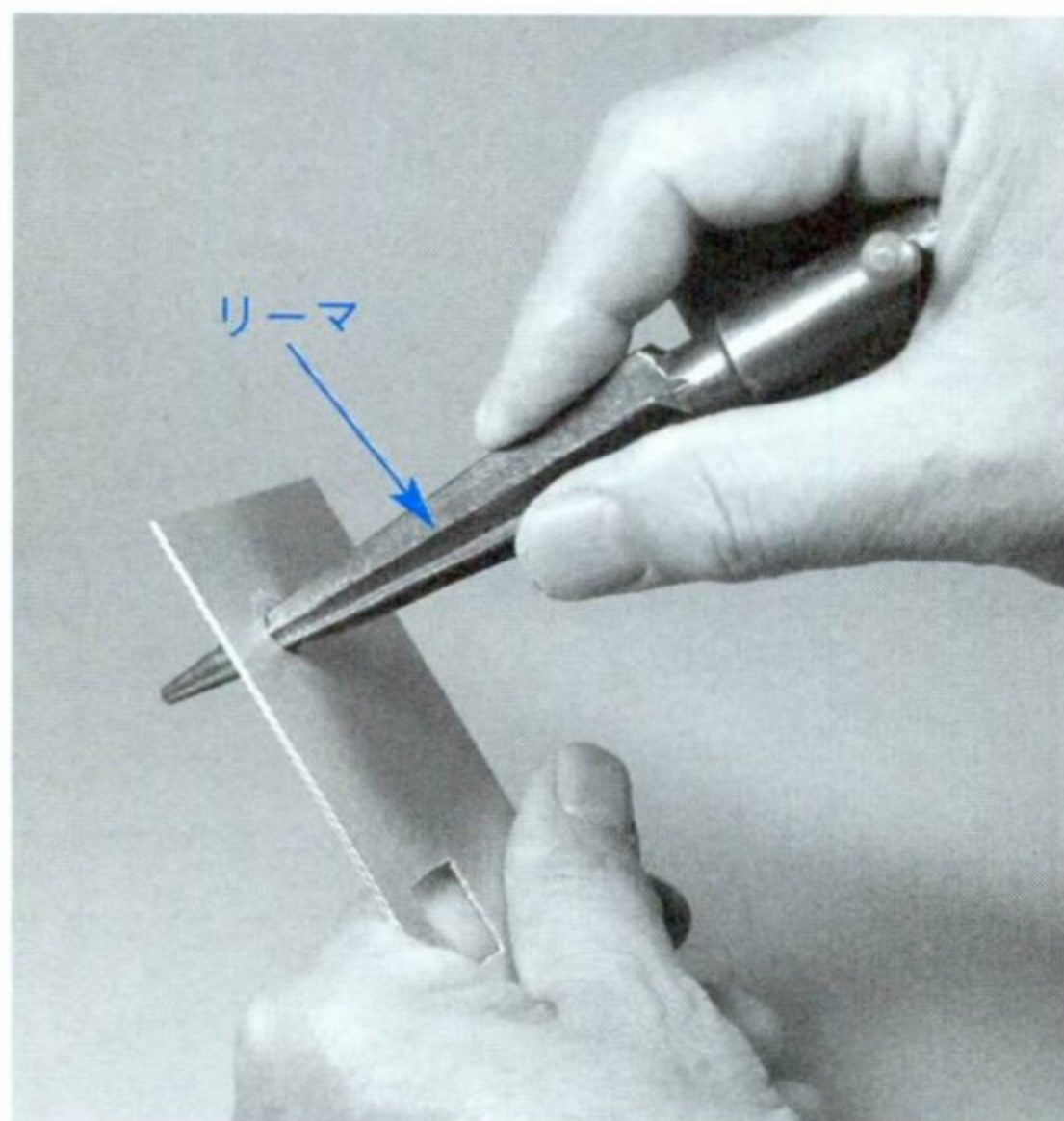
◆表4.4.6　大きな穴の必要なもの

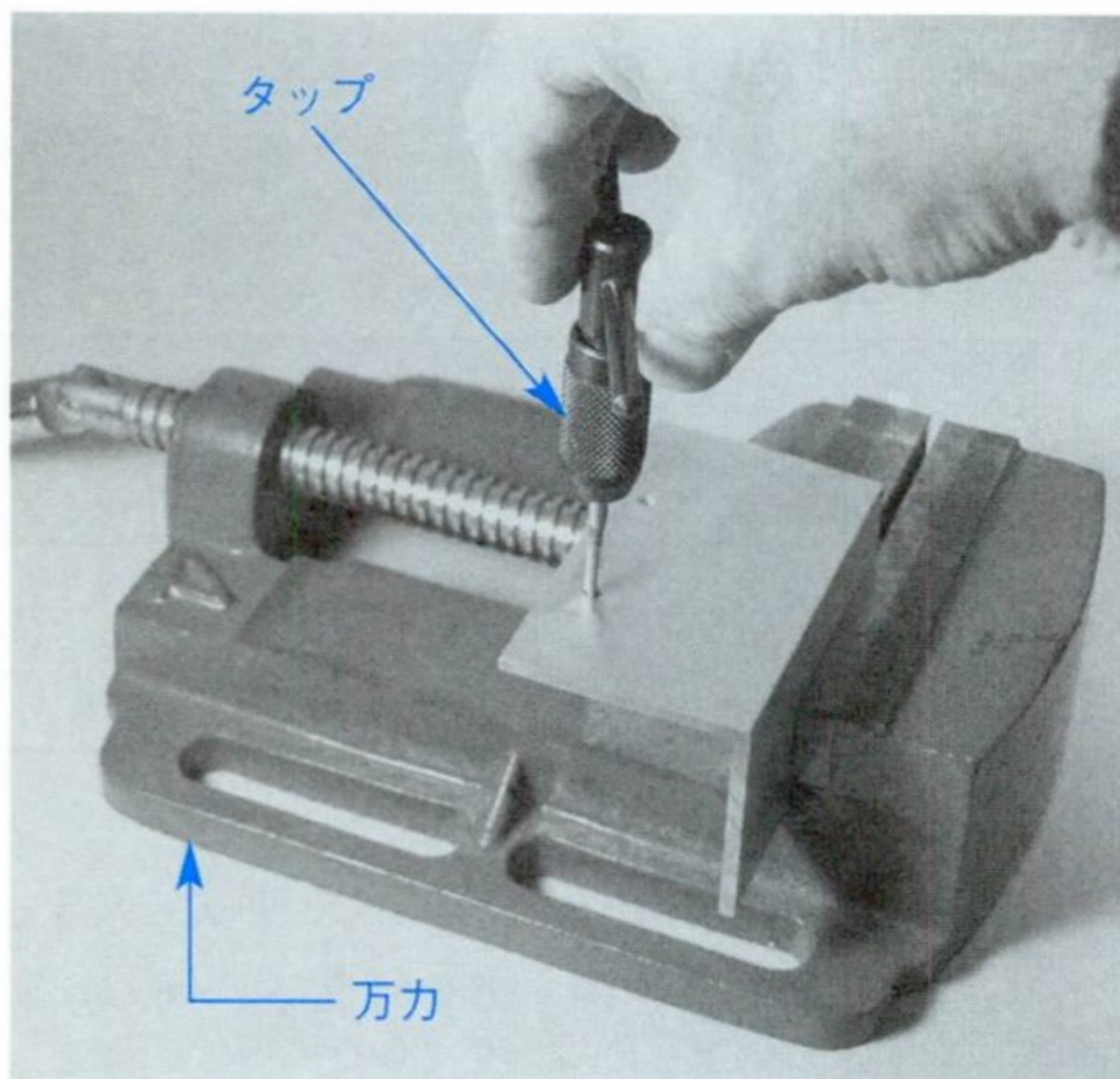
部品種別	必要サイズ	穴サイズ
ACコード用ブラケット	10×12楕円穴	リーマとヤスリ
RCAジャック	M6、M8	6.5 φ、9 φ
BNCコネクタ	M9	9.5 φ
ボリューム類	M7	8 φ
ヒューズブラケット	M12	13 φ

写真4.4.15が実際にリーマを使って穴を広げているところです。リーマはまっすぐにしてあまり押す力を加えずに回しながら切り取っていく要領です。

◆写真4.4.15　リーマの使い方

④ タップ立て

常識
作業は、万力で固定して行うこと。

タップ立てとは何かというと、**ネジ切り**です。つまりアルミやアクリルなどの厚手の板に直接ネジを切って、ナットを使わずネジだけで固定できるようにするとき使います。これに使う道具が**タップ**で、ネジの太さに合わせていくつかのタップを取り替えて使えるようになっています。タップを立てるには、まず下穴をあけることが必要です。下穴の寸法はネジによって下記のようにするとちょうどよいようになっています。

M2ネジ	1.5 ϕ
M3ネジ	2.5 ϕ
M5ネジ	4.0 ϕ

◆写真4.4.16　タップ立て

コツ　下穴をあけたら、タップを回しながらネジを切っていきます。無理に回すとネジがつぶれてしまうので、きつくなったら、いったん逆に回してタップを取り

出し、再度切り直しをします。これを何度か繰り返すことで、楽にきれいにネジを切ることができます。

写真4.4.16は実際にアルミの型材にタップを切っているところで、型材の固定に据え置き型の万力を使っています。

⑤ 大きな丸穴や角穴のあけかた

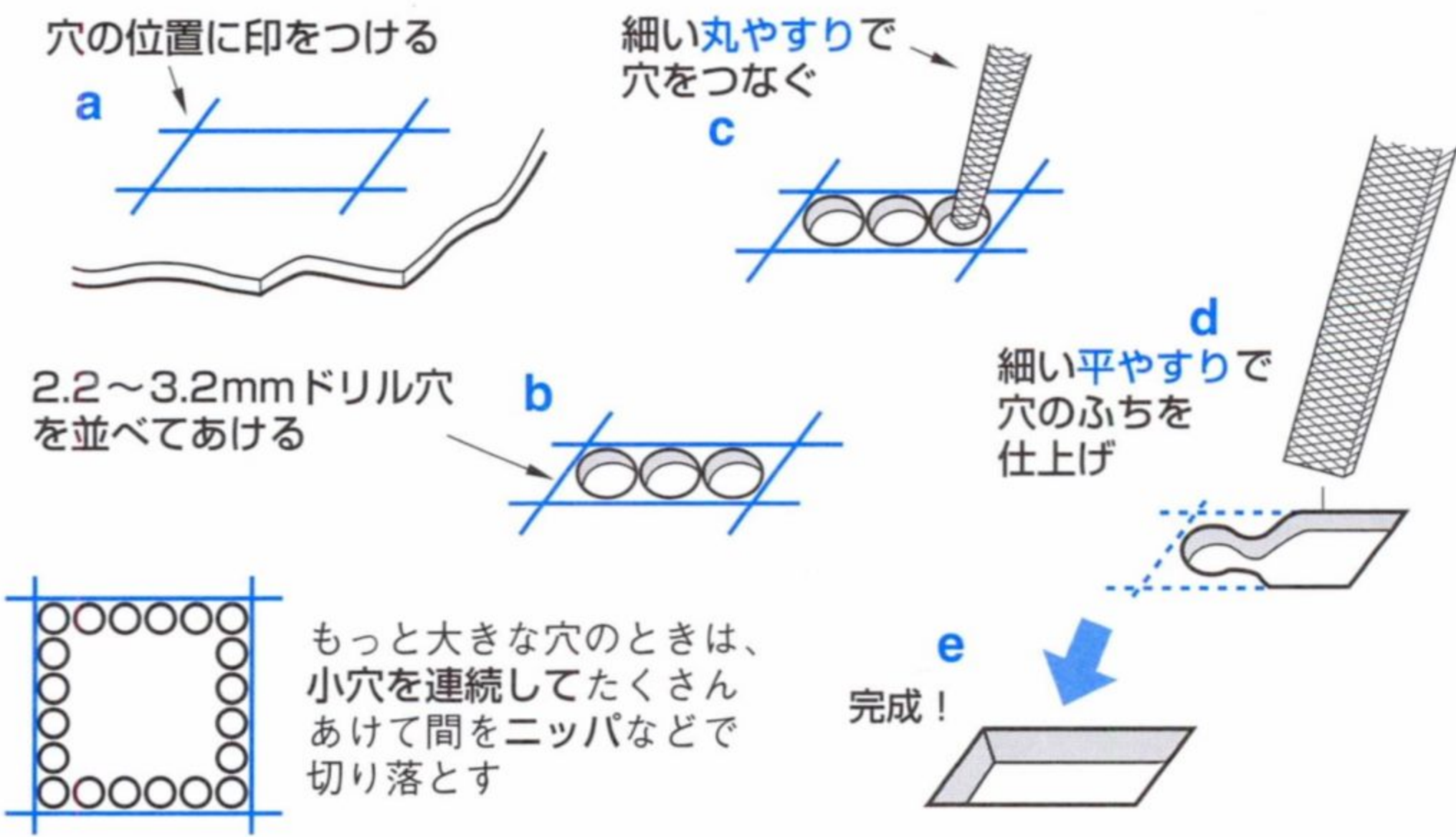
表4.4.7のような部品には、20 φ以上の大きな丸穴や角穴を必要とします。このような大きな穴のあけ方には、3つの方法があります。

◆表4.4.7　大きな取り付け穴を必要とする部品

部品種別	必要な穴サイズ	あけ方
セグメントLED	12×40など角穴	①ドリル小穴とヤスリ ②ハンドニブラ ③糸鋸
メータ	40×60など角穴 または80 φ丸穴	
ディジスイッチ	角穴	
コネクタ類	角穴	
ねじ端子類	角穴	
液晶表示器	角穴	

アドバイス
ヤスリで仕上げるので、ヤスリの削りしろをとっておきます。

方法その① 図4.4.4のように、小さな穴を連続してあける方法です。まず、3.2 φの穴をあける穴の周囲の内側に沿って連続してあけます。次に、それらの穴の間をニッパ等の先で切り取り、内側を切り落とします。あとはヤスリできれいに仕上げます。したがって、小穴を連続してあけるときには、ヤスリの削りしろを作るように、あけたい穴より1mm程度内側になるようにして穴を連続してあけます。

a 穴の位置に印をつける
b 2.2～3.2mmドリル穴を並べてあける
c 細い丸やすりで穴をつなぐ
d 細い平やすりで穴のふちを仕上げ
e 完成！
もっと大きな穴のときは、小穴を連続してたくさんあけて間をニッパなどで切り落とす

◆図4.4.4　大きな穴のあけ方

方法その② ハンドニブラであける方法です。**ハンドニブラ**は丸穴、角穴いずれにも使用でき、簡単に大きな穴をあけられるので便利に使えます。

使い方はまず、ハンドニブラの刃先が入る下穴をあけます。下穴は6.5 φ以上の

穴が必要なので、6.5 φの穴をドリルであけたあとヤスリでちょっと広げてニブラの先端が入るようにします。後はニブラで切り取っていくので自由な形の穴があけられます。ニブラで大体の穴をあけたら、後はヤスリで仕上げます。写真4.4.17がハンドニブラで角穴をあけているところです。

◆写真4.4.17　ハンドニブラによる穴あけ

方法その③ 糸鋸による穴あけ方法です。糸鋸は原始的な道具ですが、穴をあけるには便利な道具です。特に、複雑な形の穴をあけたいときには重宝します。

使い方は、まず下穴を3.2 φのドリルであけておきますが、穴のコーナーごとにこの下穴が必要です。つまり鋸刃には数mm程度ですが幅があるので、向きを変える所には下穴が必要となります。その後鋸刃を下穴に通してから、鋸刃を糸鋸本体にきつく固定します。そして順次切っていきます。しかし、糸鋸の弓状の枠があり、これが邪魔になるので、ある程度の大きさ以下のものにしか穴をあけることができないので注意してください。

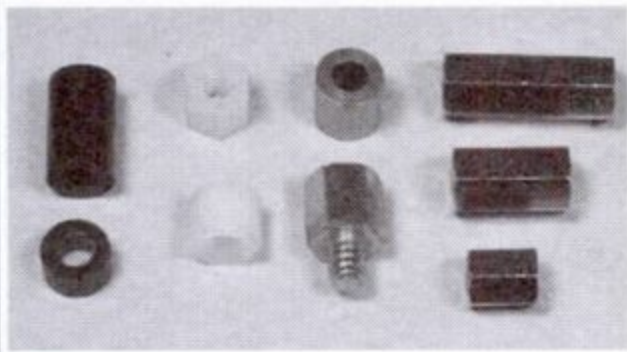
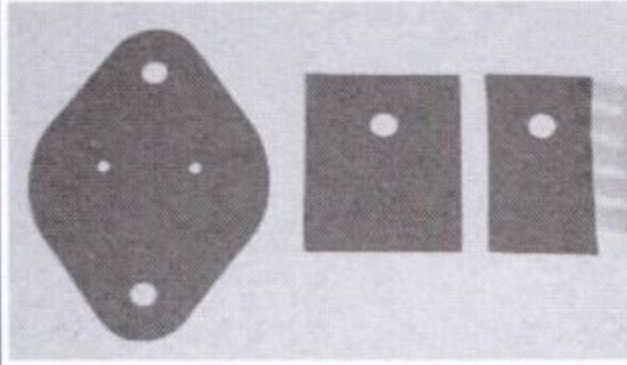
⑥ ジグソーによる大きな穴あけ

特に自在曲線対応のジグソーを使うと、鋸刃が細いので比較的小さな穴も容易にあけられます。ジグソーを使う前に、刃を通すための下穴をあける必要があります。4 φから6 φ程度の丸穴をドリルであければOKです。ジグソーを使うときには、ジグソー側を作業台に固定し、材料側を動かして切断する方法の方が作業しやすく、精度よく仕上げられると思います。これで穴あけができたらあとはヤスリで仕上げます。

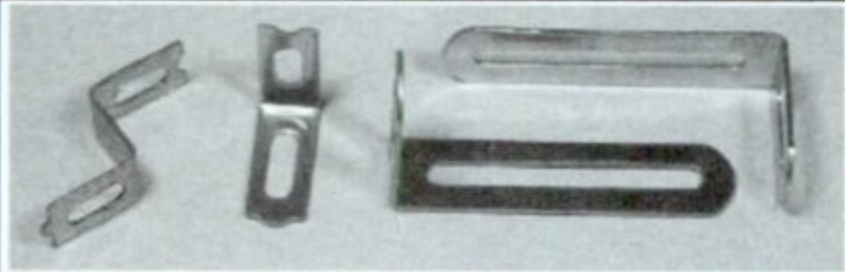
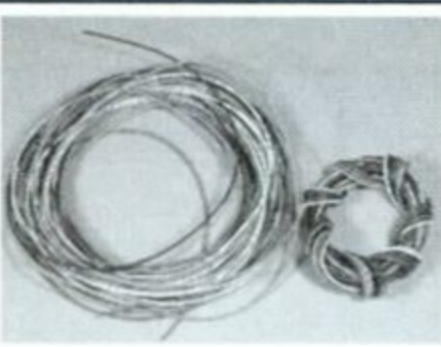
4-4-6　加工法（取り付け）

ケースを加工したあと、各種の部品を取り付けていきますが、部品によって取り付けかたに工夫が必要なものがあります。しかしこれにも大体一般的な取り付け方法があり、その方法そのものがノウハウとなっています。

■取り付けに使う道具

ケースへの部品の取り付けに使う道具には表4.4.8のようなものがあります。それぞれを使い分けることで上手な工作ができます。

◆表4.4.8　取り付け工作用の道具

名称	外観	用途・選び方
ドライバ		プラス、マイナスと大きさで幾つかの種類が必要。
ラジオペンチ		配線用と取付け用と兼用するため中型のものを使う。
ボックスドライバ		ナットを固定する時便利（M3ネジ用）ペンチでも代用できる。
6角レンチ		ツマミなどのネジ固定に使う。 代替の方法がないので必須道具。 何種類かセットになっているのが便利。
両面接着テープ		意外と丈夫に固定できるので、いろいろなものの固定に重宝。 薄手と厚手を用意。

■取り付け用小物パーツ

道具以外に部品の取り付けによく使う小物パーツで、表4.4.9のようなものを一式用意しておくと便利に使えます。

◆表4.4.9　取り付け用小物

名称	外観	用意する種類
ボルトナット	ねじ（さら、なべ、バインド、トラスなど）六角ナットなど	M3×5、M3×10、M3×15
スペーサ		貫通型　5mm、10mm ネジ付き10mm、15mm
絶縁シート		TO-220用、TO-3用
タイラップ		配線の束線用細めのもの

アドバイス

ねじには頭の形状によって、さら頭、なべ頭、バインド頭、トラス頭などの種類があります。

L金具		30mm、50mm高さ 固定ネジはM3	
ACコード用ブッシュ		線材	
	AC電源ケーブルの固定に使用		カラー線材が色分けできてよい 太さも2種類程必要

■プリント基板の取り付け方

参考
・スペーサ

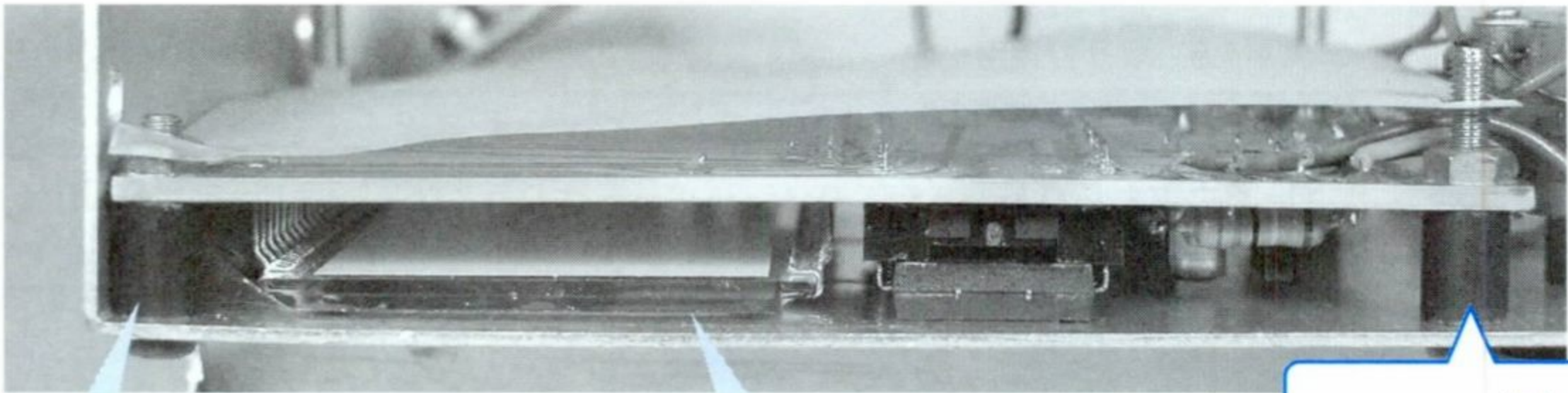
アドバイス
金属タイプのスペーサは使用しないでください。

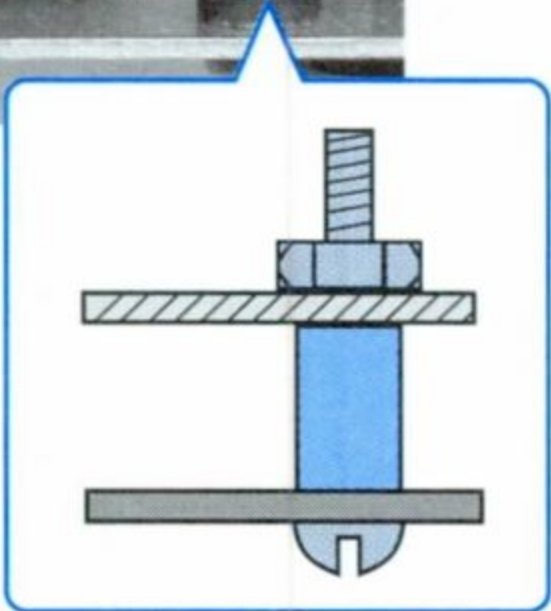
ケースの中に取り付けるものとしてまずプリント基板があります。プリント基板をケースの中に取り付けるときには、裏側のはんだ付けが、ケースと接触しないように浮かせて取り付ける必要があります。このためには普通、**スペーサ**を使います。

スペーサは絶縁タイプの貫通型が安全です。金属タイプの物はパターンとショートしてしまう危険があるので避けてください。スペーサには高さの違いで何種類かのものがあるので、あらかじめ何種類か揃えておいて、その中から適当なものを選びます。実際の取り付けは写真4.4.18のようにします。

基板の取り付けねじは、ケースの外側にネジの頭側が来るようにすると仕上げがきれいです。スイッチなどが基板にあるときは、その近くにスペーサが来るように取り付けると、押す操作をしても丈夫になります。

基板の取り付けのとき、液晶表示器やセグメント発光ダイオードなどの表示面が、ケースにぴったりと合うようにスペーサの高さを選ぶことも必要です。

写真では液晶表示パネルがケースの裏側に、ぴったり付くようにスペーサを使っています。

スペーサで基板を浮かして取り付け、液晶表示器の表示面が前面パネルにピッタリ合うようにする

液晶表示器は基板に実装されている

◆写真4.4.18 基板の取り付け方

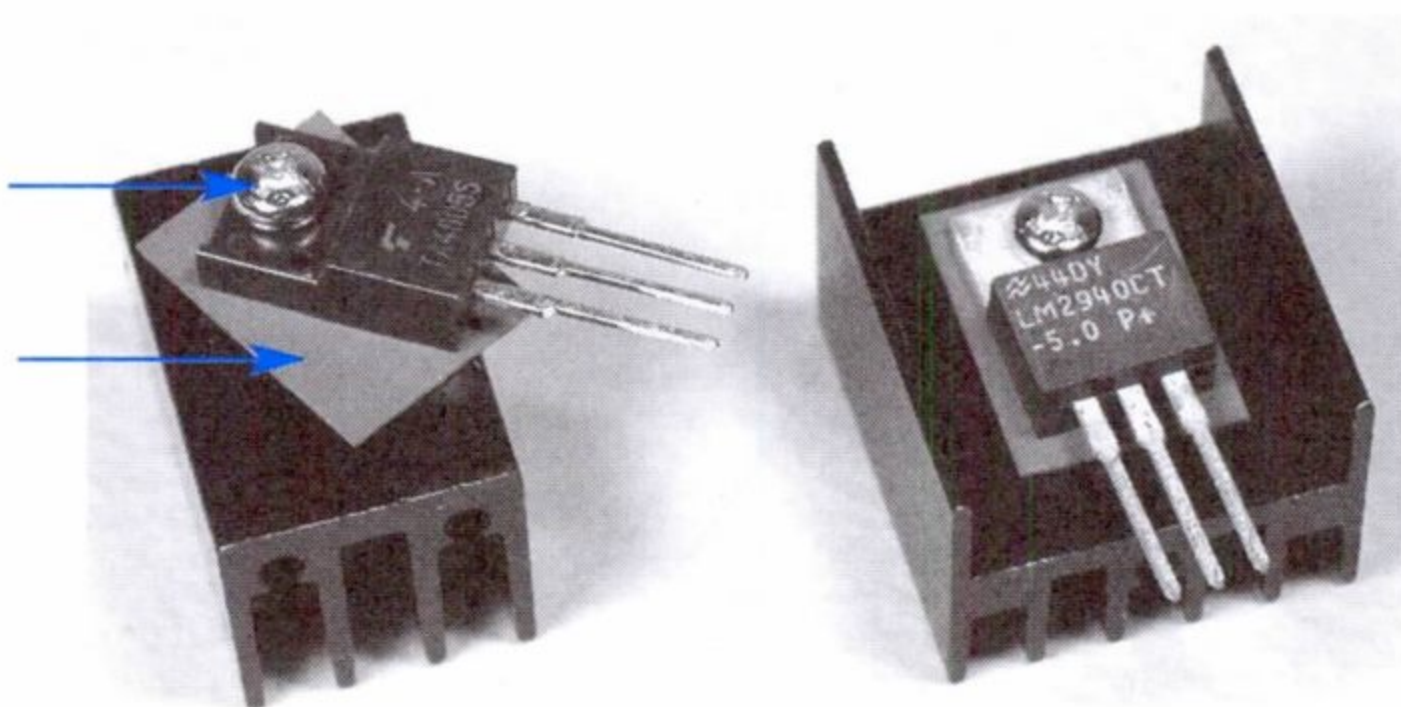
■トランジスタなどの放熱フィンの取り付け方法

参照
・放熱器 → p.145

放熱が必要なレギュレータやパワートランジスタに放熱フィン（放熱器）を取り付けたり、ケースを放熱フィン代わりにするときの取り付け方です。

参照
・FETの形 → p.71

絶縁シートを使って電気的に絶縁して、熱的には放熱しやすいように接続します。放熱をよくするために素子と絶縁シートの間にはシリコングリースを塗布します（最近は**熱伝導性絶縁シート**というものが多く使われています）。写真4.4.19のようにTO-220型を取り付けるときの取り付けネジは、絶縁する必要がある場合にはプラスチック製のネジを使って取り付けます。

絶縁するときはプラスチック製のネジを使う
熱伝導性絶縁シート

◆写真4.4.19　放熱器の取り付け方

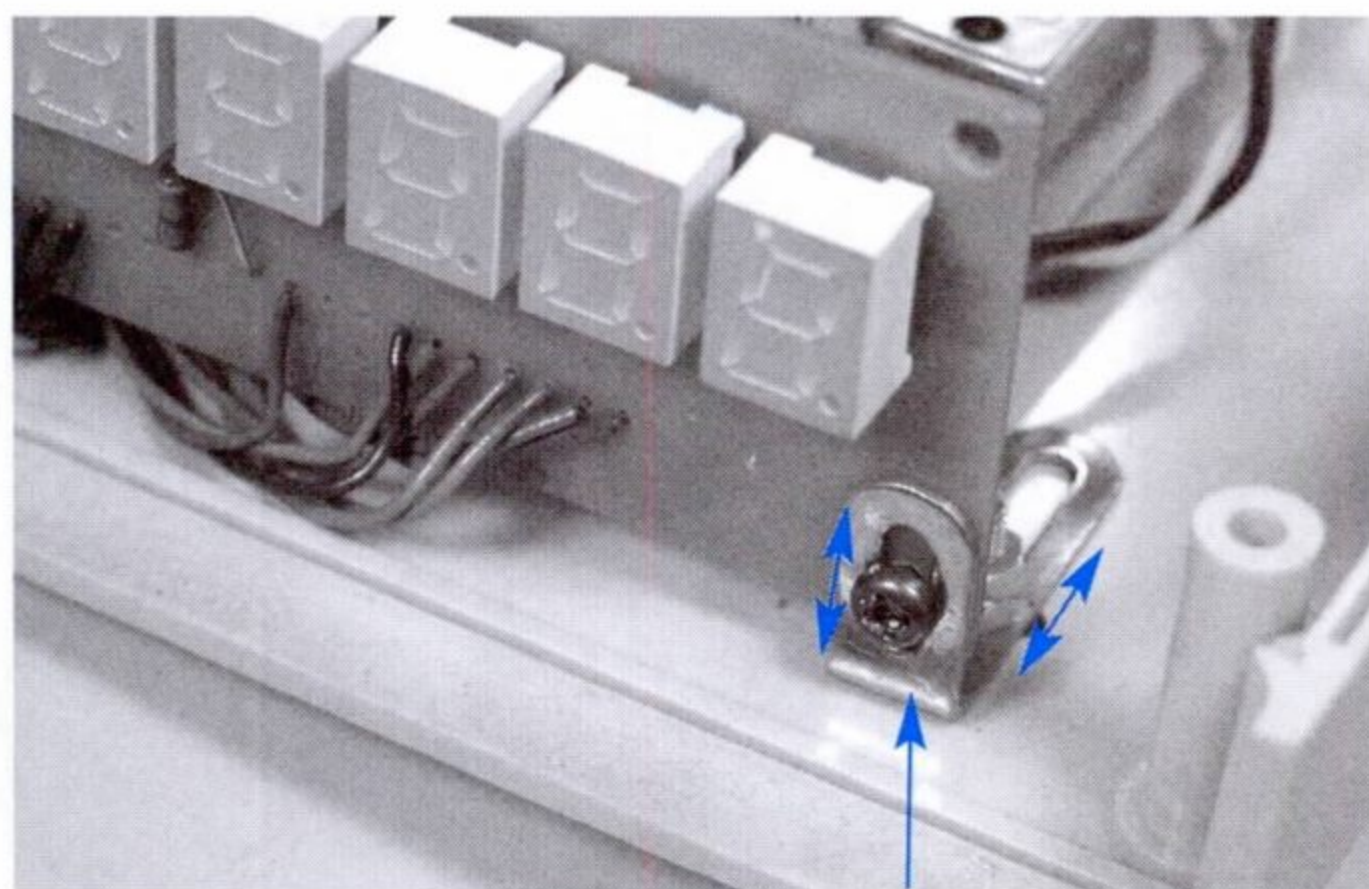
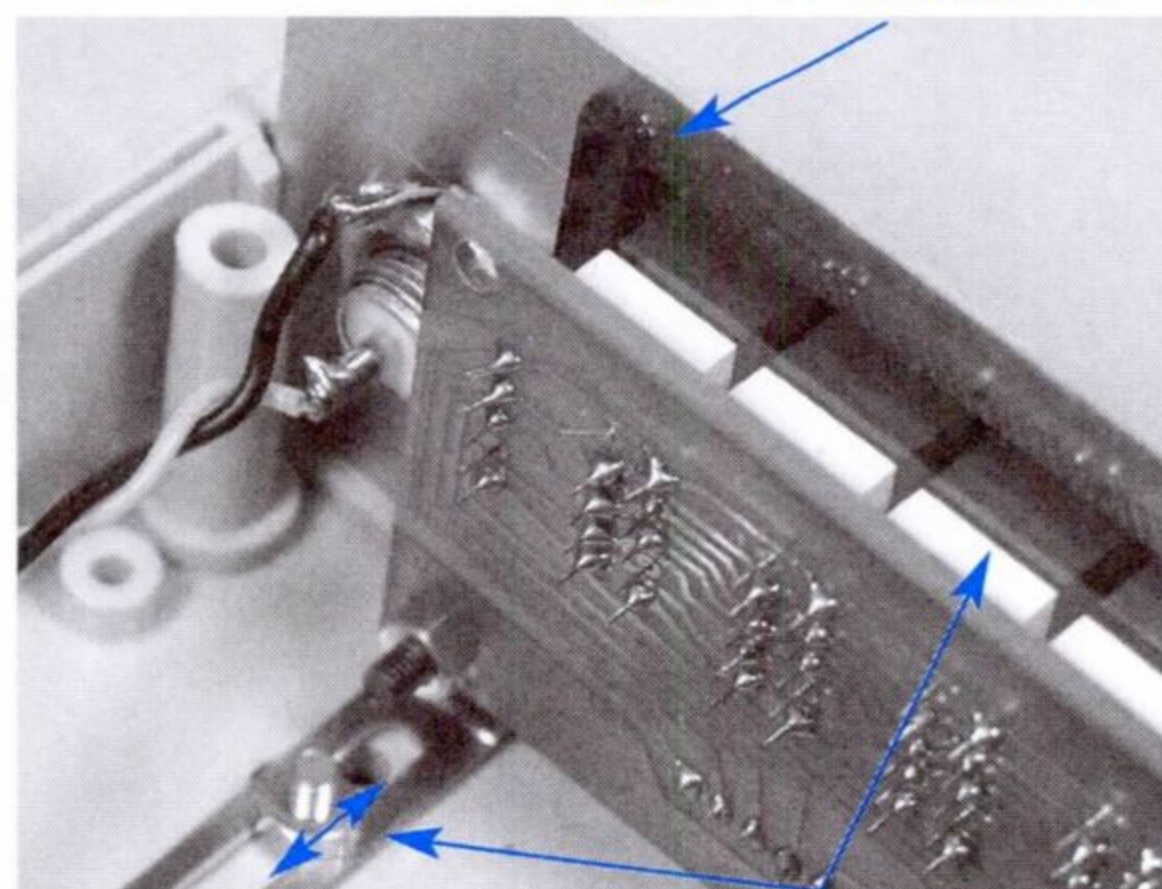
参考
・L金具

参照
・セグメント発光ダイオード → p.101

■数字表示発光ダイオードの取り付け

数字表示の発光ダイオードを取り付けるには、必要な桁数の発光ダイオードを取り付けられるプリント基板を使います。この基板の表示面をケースのパネル面にピタッとなるように取り付けるのですが、そのまま外に見せたのではきれいにならないので、色付きの透明アクリルをパネルと発光ダイオードの間に挟みます。このアクリル板は薄手の両面接着テープでケースの前面パネルに固定し、発光ダイオードの基板は**L金具**でケースに固定します。

写真4.4.20は実際の例で、褐色のアクリル板の両端を両面接着テープで前面パネルに固定し、発光ダイオードの基板はL金具で高さと奥行きの両方を調整してアクリル板に密着させています。

アクリル板を両面接着テープで前面パネルに固定する

L金具で表示基板をシャーシに固定する。前後の位置と高さが自由に調整できる

セグメント発光ダイオードの表示面がピッタリとアクリルに接するように、表示基板の位置をL金具で調整する

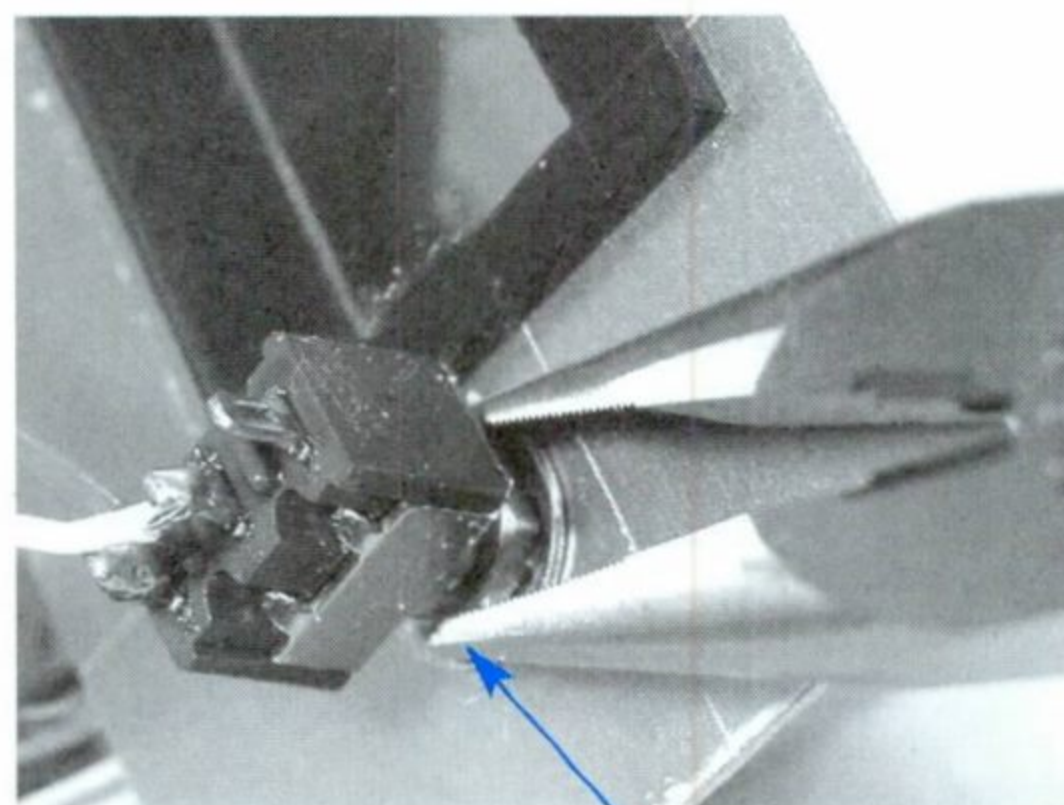
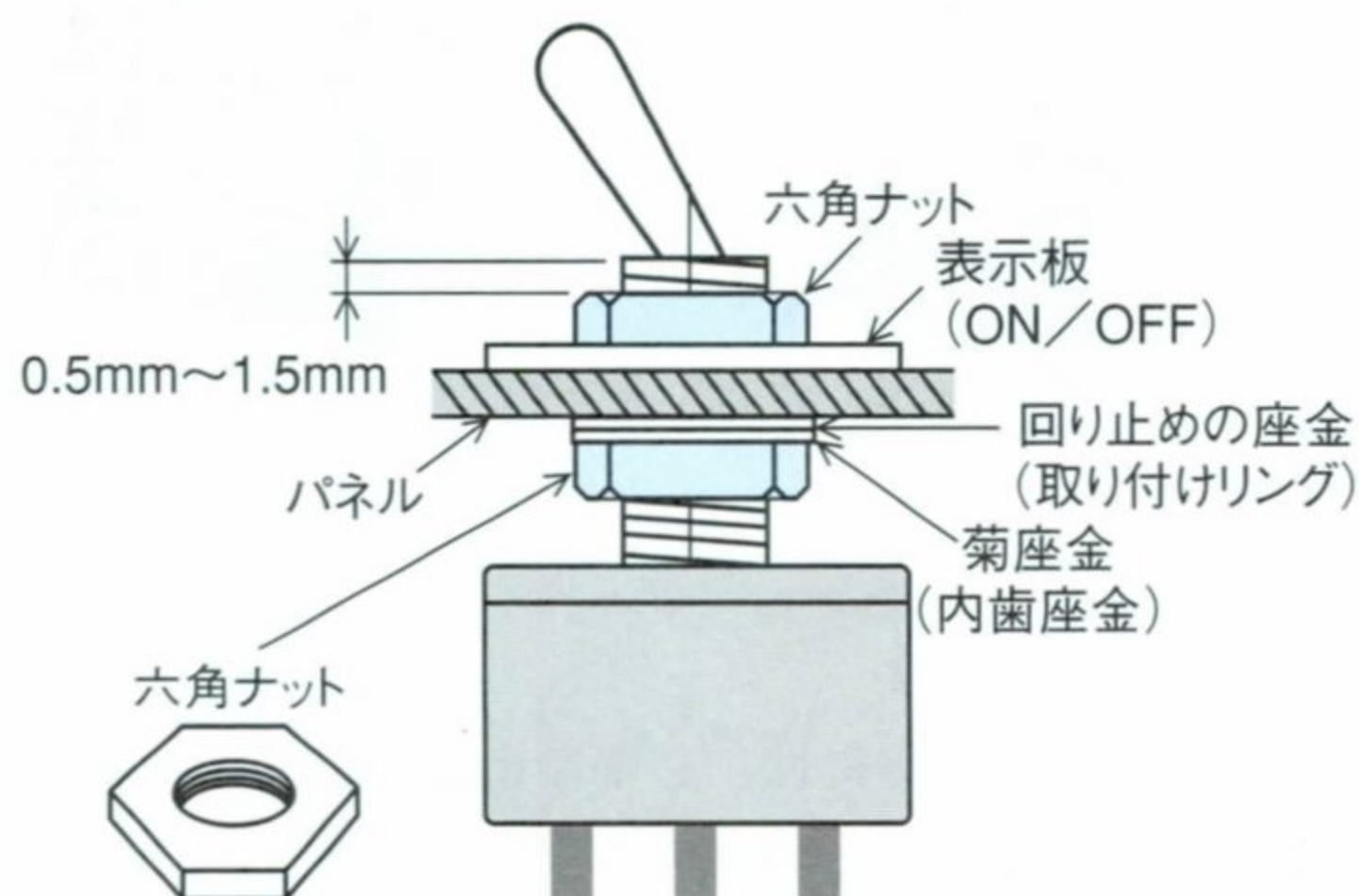
◆写真4.4.20　数字表示発光ダイオードの取り付け方

■スイッチ類の取り付け

参照
・トグルスイッチ→p.139

スイッチにはいろいろな種類のものがありますが、電源スイッチなどによく使う**トグルスイッチ**の取り付けは写真4.4.21のようにします。

表面にあまり余分なネジの部分が出ないように、ナットを2個使ってナットで前面パネルを挟むようにして取り付けます。ナットとスプリングワッシャを裏側に入れ、表側からナットで締めます。

コツ このとき裏側のナットは、前面の出っ張りがちょうどよいように、ナットの位置を調整します。

◆写真4.4.21 スイッチの取り付け方

4-4-7 配線の仕方

ケース加工が終わり、各種の部品を取り付けたら、いよいよ最後の接続配線となります。配線を決めるのははんだ付けの良し悪しで、特にプリント基板でのはんだ付けと異なり、大きな物や特殊なものへのはんだ付けがあるのでコツが必要です。

■配線に使う道具

部品の配線に使う道具には基板の組み立て用とほぼ同じですが、表4.4.10のようなものがあります。それぞれ使い道があり、使い分けることで上手な工作ができます。

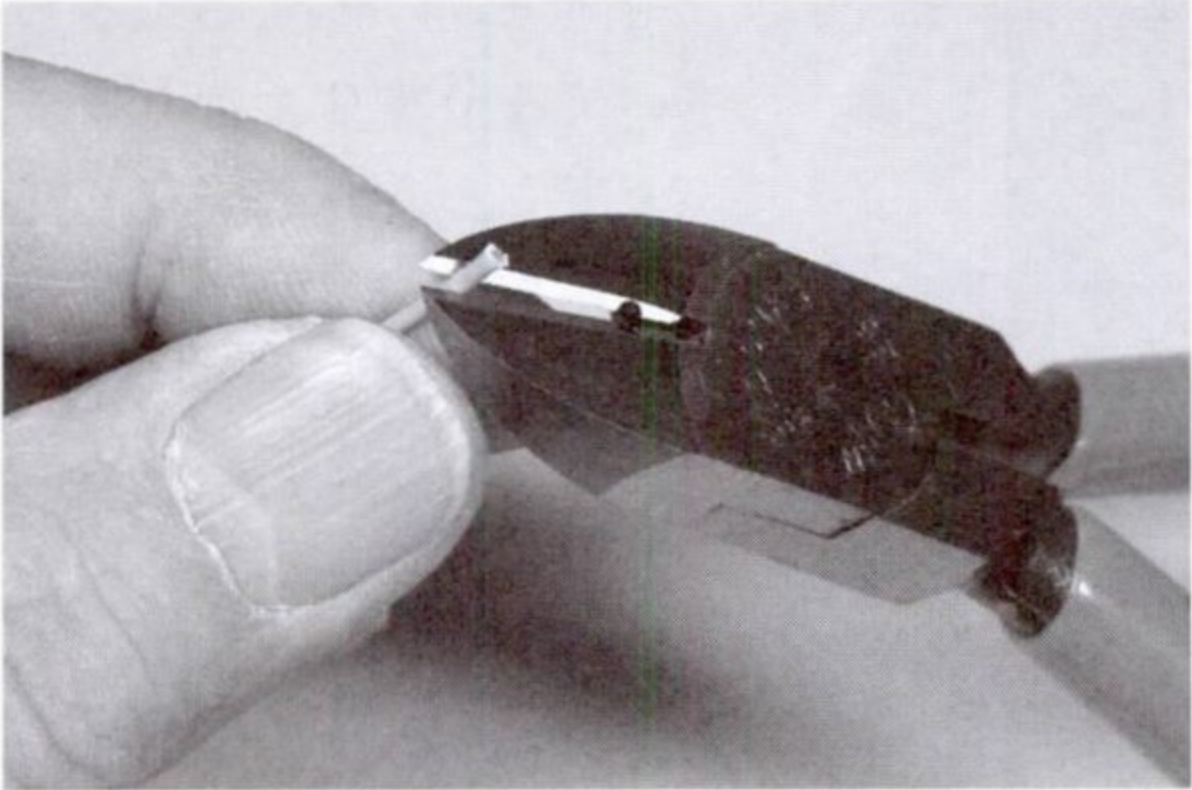
◆表 4.4.10　配線用の道具

名称	外観	用途・選び方
はんだこて		熱の強さで2種類あると便利 20Wと30W程度
はんだ		細めのヤニ入り。基板用と同じ
はんだ吸い取り器		大き目の方が使いやすい
はんだ吸い取り線		はんだ除去用の網線
ニッパ		線材の切断と被覆むき
ラジオペンチ		端子折り曲げと固定
ピンセット		あると固定しながらできて便利
タイラップ		束線し固定する
線材		ちょっと太めの方が丈夫。多色の線材がよい。 12/0.18～30/0.18 （本/直径mm）

■線材の被覆のむき方

結構簡単そうでコツがいるのが線材の被覆むきです。中の芯線を傷付けると、後で断線の元にもなってしまうのでていねいにむく必要があります。

コツ　私の使う方法は、まず太めの線材は、写真4.4.22のようにして、ペンチとニッパを「てこ」のようにして軽くむきます。細い線材のときには写真4.4.23のようにニッパだけで、向きを逆にして軽くはさんでからニッパを引っ張って被覆をむきます。この方が線材にあまり力が加わらずきれいにむけます。

◆写真 4.4.22　線材の被覆むき

◆写真 4.4.23　細線の被覆むき

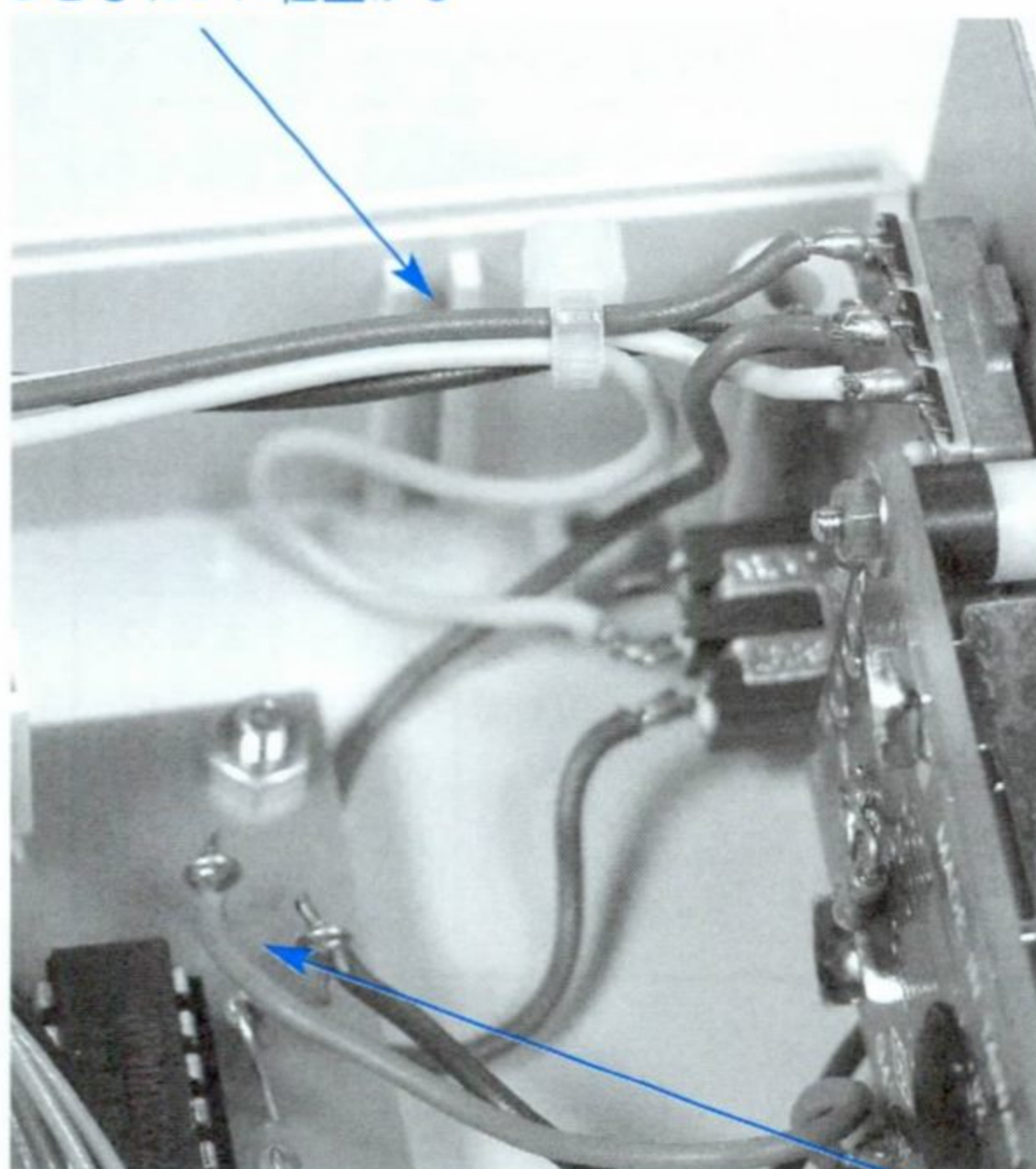
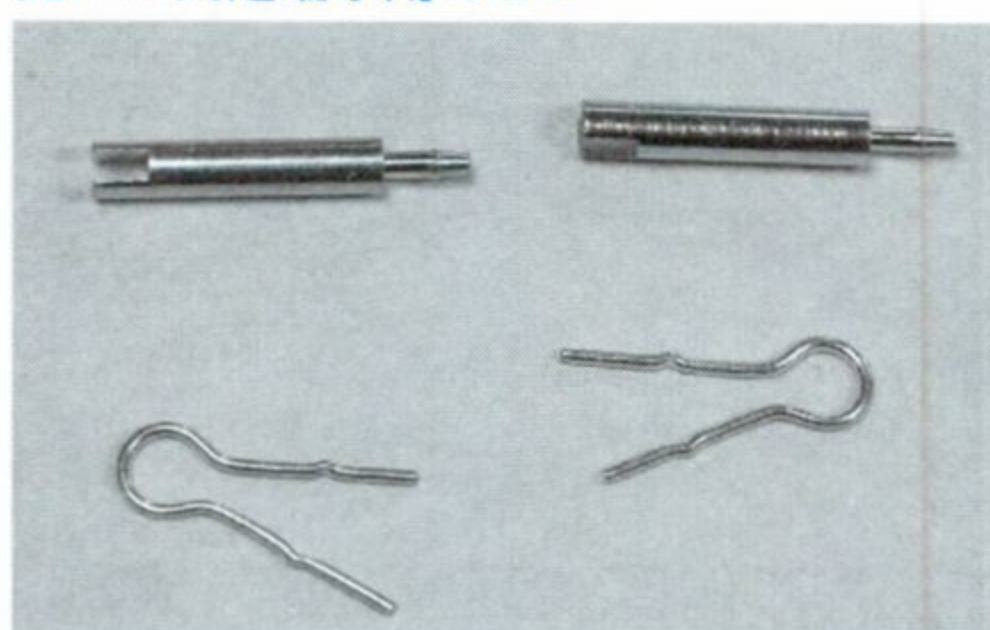
■プリント基板への配線

常識
あらかじめ配線接続用の端子をプリント基板に実装しておく。

プリント基板に外部部品を接続したり、電源線などを配線するには、プリント基板にあらかじめ配線接続用の端子を実装しておきます。端子にはいろいろありますが、太くて丈夫な方が熱にも強く安心です。

コツ　あらかじめ配線接続用の端子を実装しておきます。また、配線に使う線材は、信号の種類で色分けをしておくと後からのチェックが非常に楽になります。

配線が終了したら、写真4.4.24のようにタイラップで束ねて型を作ってきれいに曲げておくとでき上がりが美しくなります。タイラップの余分な部分はニッパで切り落としてしまいます。

配線完了後にタイラップでまとめるときれいに仕上がる

【配線接続用のピンの例】
元々は測定端子用のピン

基板に配線接続用の端子を実装しておく

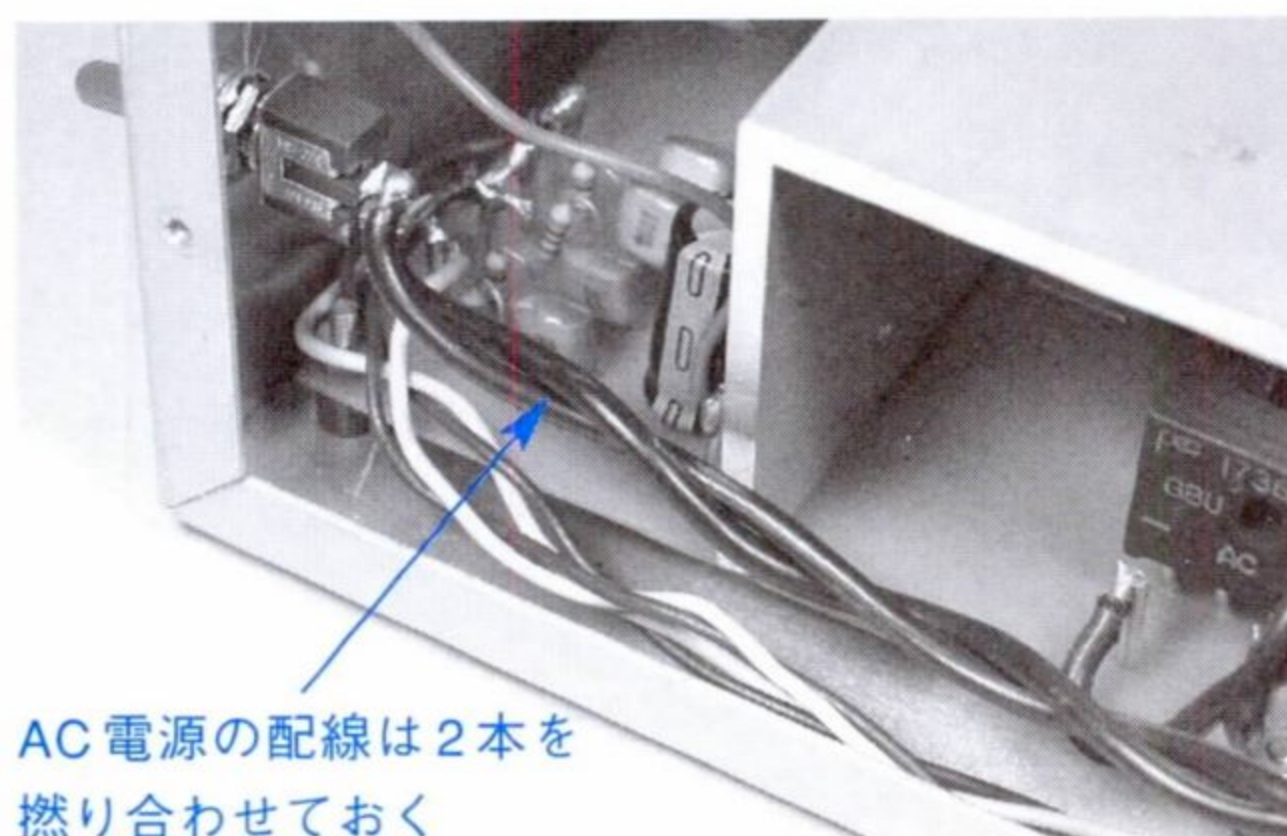
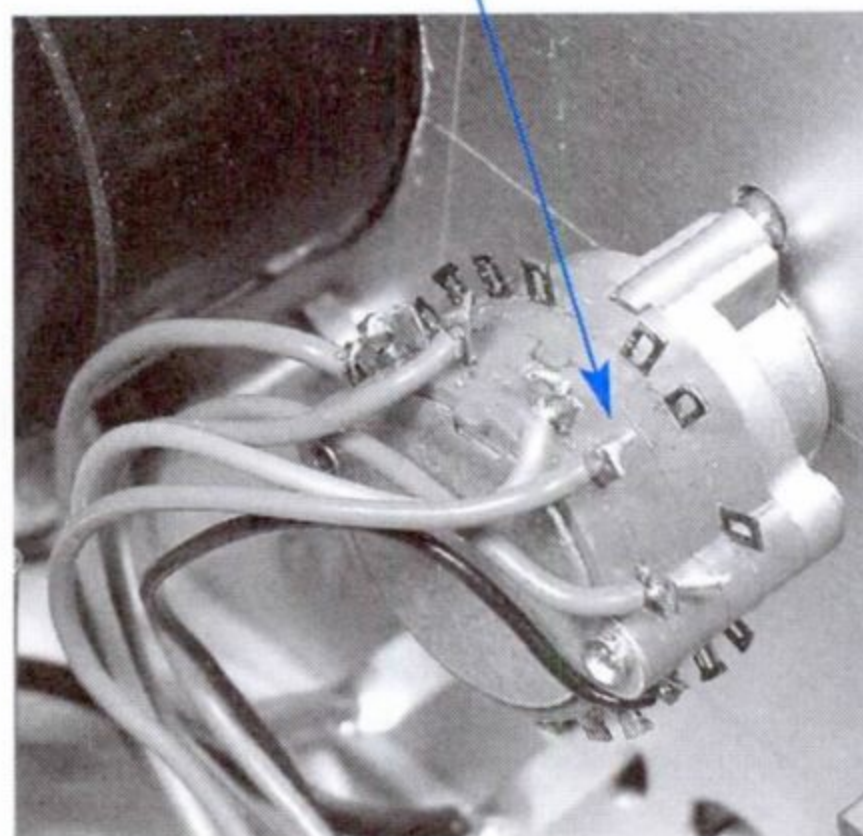
◆写真4.4.24　基板への配線方法

■スイッチ類への配線

パネル取り付け型のスイッチへの配線は、取り付け端子の穴にケーブルの先端を通し、半固定してからはんだ付けします。こうするとはんだ付け中に動かないのでやりやすくなります。また電源ケーブルなど太い線材のときは、十分のはんだでしっかりと固定しておきます。

常識
AC電源の線は、2本の線を写真のようにより合わせておく（誘導ノイズを抑える）。

コツ　まず取り付け端子の穴にケーブルの先端を通し、半固定してからはんだ付けして固定ます。AC電源の線は、2本を撚っておきます（こうすると余計な誘導ノイズを抑えることができます）。

端子の穴に線の先端を通して固定する

AC電源の配線は２本を撚り合わせておく

◆写真4.4.25　スイッチへの配線

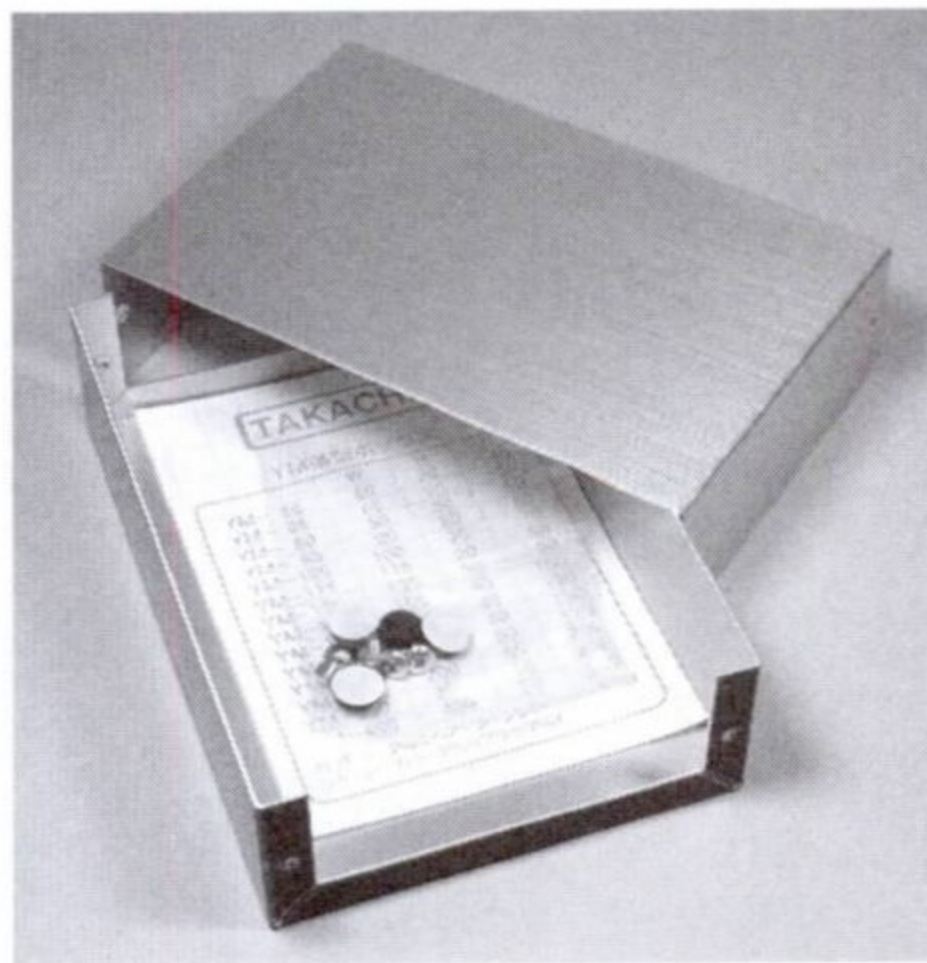
4-4-8　ケースの種類

工作方法が大体理解できたところで、私達が工作として使えるケースにはどんなものがあるでしょうか。筆者がよく使うものを紹介します。選択の基準はあくまでも誰にでも買え、安いということです。

■タカチ YM薄型ボックス（小型アルミケース）

アドバイス

「タカチ電機工業」のホームページに詳しい製品情報が掲載されています。

これは小物を作るときに、加工もしやすく見た目も結構きれいにできるので重宝します。筆者がよく使うアルミケースです。これには下記のような種類がありますが、筆者が使うのはYM-130、YM-180という型番の２種類でほとんど済んでいます。

◆写真4.4.26　YM-150の外観

◆写真4.4.27　実際の使用例（デジタルマルチメータ）

■IDEAL CBシリーズ

アドバイス

「IDEAL（摂津金属工業）」のホームページに詳しい製品情報が掲載されています。

これにはあまり種類はありませんが、大型の電源トランスや大きなパーツがあるときで、奥行きと高さが必要なとき便利に使えます。カバーの固定がネジ２本だけなので注意が必要です。

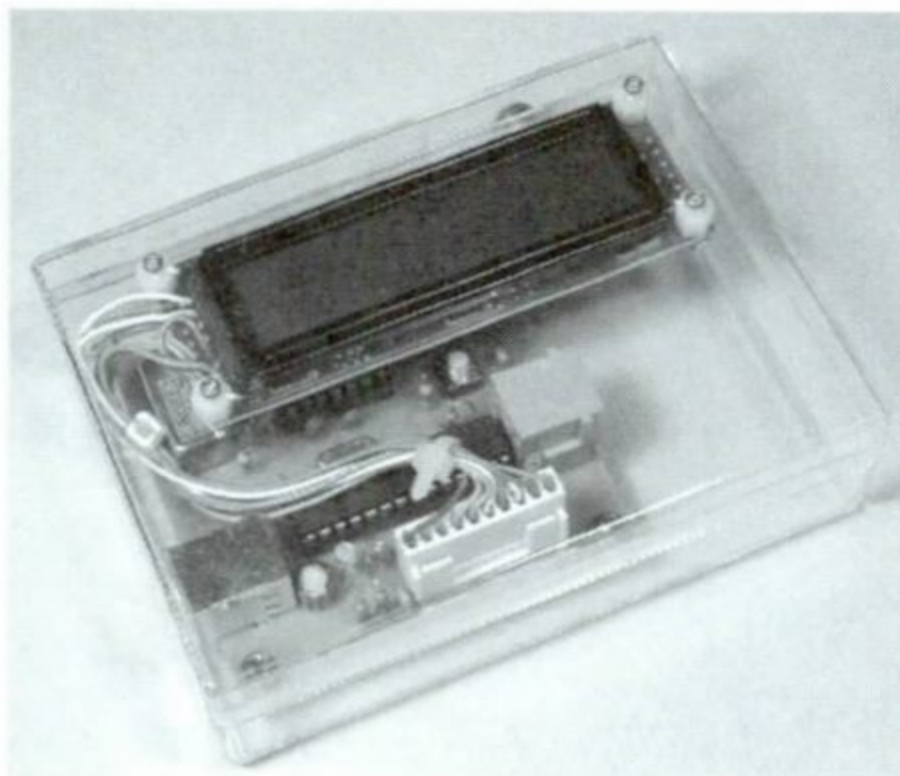
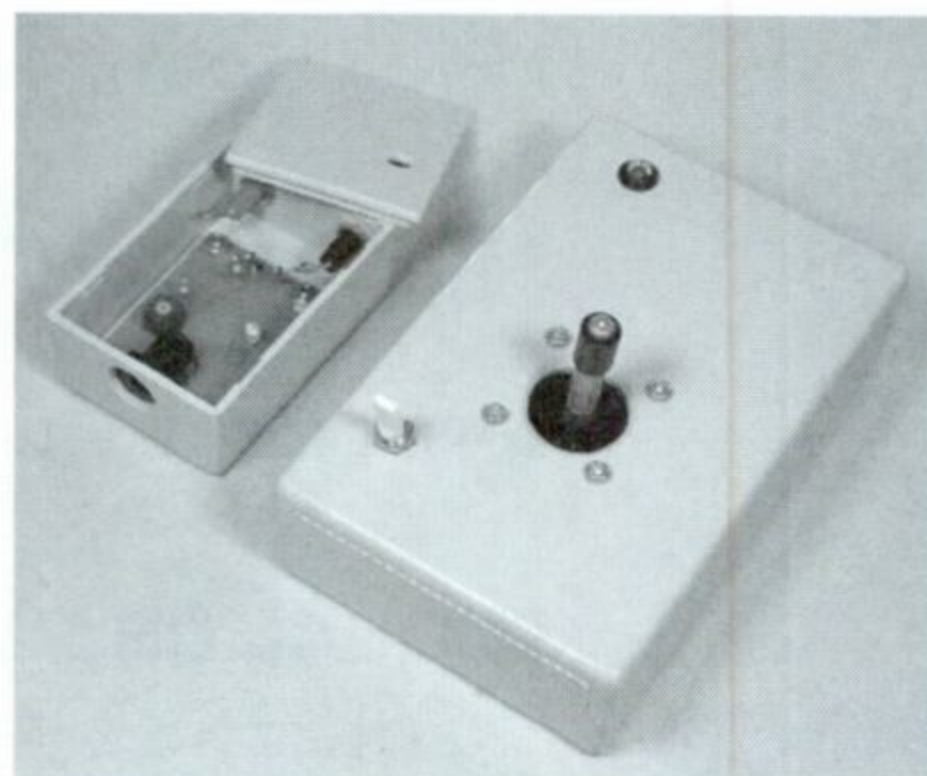
◆写真4.4.28　CB-60の実際の使用例（NiCd代用電源）

■IDEAL SF-4（化粧パネル付きアルミケース）

ちょっと高価なのですが、見栄えのするケースを使いたいとき、筆者がよく使うケースです。これは全面パネルが二重になっていて化粧パネルが独立していたり、内部の中央に棚板があって、上下面に取り付けができるなど便利に使えるケースです。

◆写真4.4.29　SF-4の使用例

■アクリルケース／プラスチックケース

携帯するものや、内部を見えるようにしたいものを作るときに便利なのがアクリルやプラスチックでできたケースです。透明なものや、色付きのもの、さらには導電性塗料を内部に塗布した電磁シールド付きのものまであります。

◆写真4.4.30　透明アクリルケースの使用例

◆写真4.4.31　プラスチックケースの使用例

4-5 測定器の使い方

せっかく製作した作品が成功するか、それとも失敗に終わるかは測定器の使い方次第といえます。電子工作用の測定器には非常にたくさんあってどれを使ったらよいか迷うところですが、本書では最近高機能化が著しく、しかも安くなった**デジタルマルチメータ**（DMM）を必須の道具として使い方を説明します。

また、もうひとつ、今後、電子工作を趣味とするのであればぜひ揃えたい測定器として**デジタルオシロスコープ**を挙げ、基本的な使い方を説明します。

4-5-1 デジタルマルチメータ

デジタル・マルチメータ（DMM）は、いわゆるテスターと同じで、電圧、電流、抵抗などの基本的な測定機能を1台にまとめた汎用デジタル測定器です。最近はこれに加えて、温度、周波数カウント、コンデンサ容量、トランジスタ増幅率、コイルインダクタンスなどの測定機能や信号出力機能までも含まれた高機能なものが非常に安価に入手できるようになりました。

私たちが電子工作をする範囲では、表示桁数が3桁～4桁のDMMが1台あれば、まず大抵の場面での測定は間に合うので、これだけはぜひ揃えましょう。

筆者が使っているDMMは写真4.5.1のような4桁表示（9999）のもので、その仕様は表4.5.1となっています。これがあれば、基本的な測定関係で他の測定器が必要になることは少ないでしょう。

参考

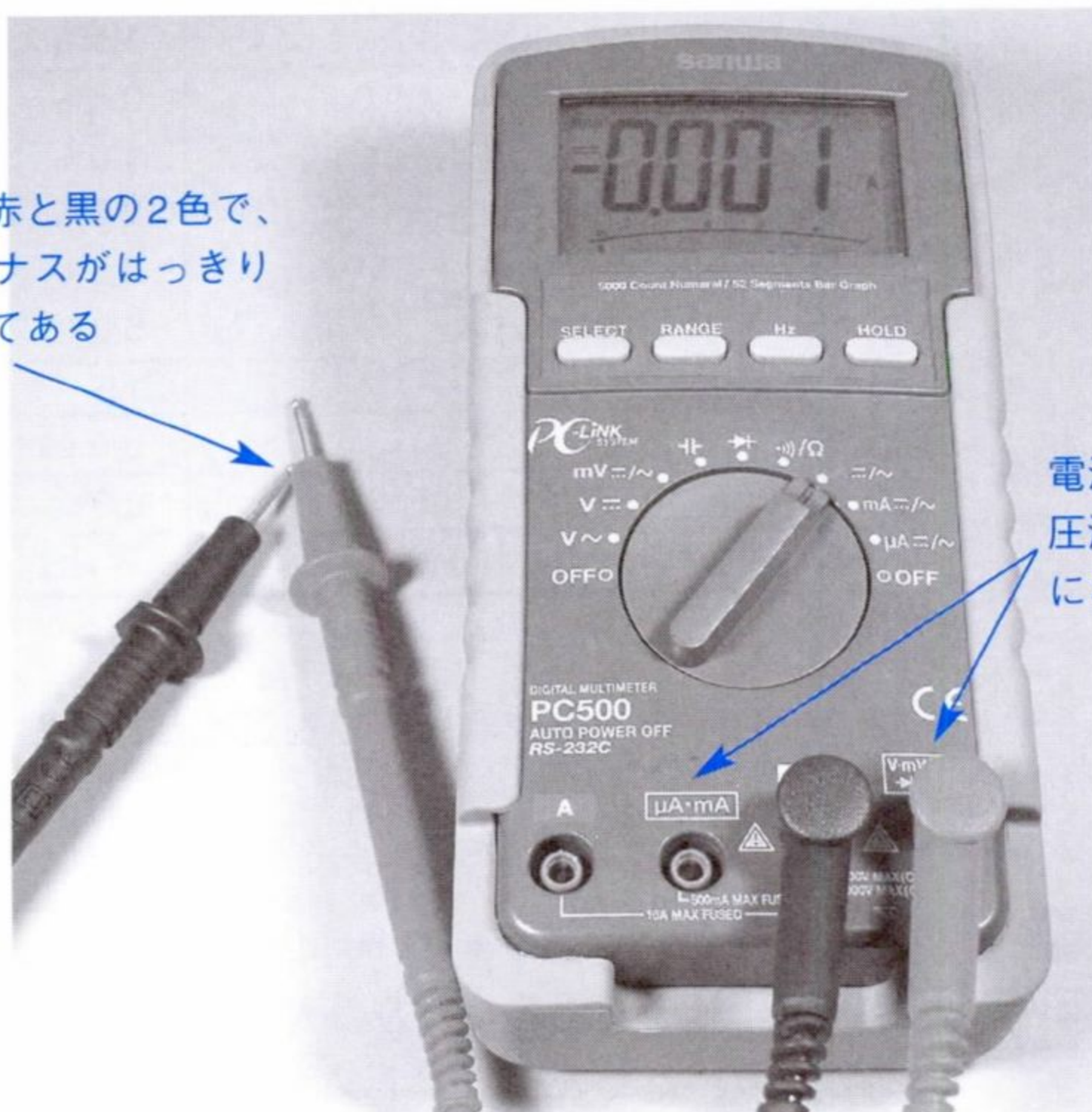
DMMの表示は電池駆動の液晶が使われています。

なお、本書は、サンワの「PC500」を使って解説しました。

アドバイス

表示桁数が3桁から4桁のものを選んでください。ちなみに3ヶ1/2桁、4ヶ1/2桁と表現されたものがありますが、3ヶ1/2桁というのは、たとえば最大表示が“1999”のように3桁（0～999）と4桁（0～9999）の間であることを意味しています。

テストピンは赤と黒の2色で、プラス、マイナスがはっきりするようにしてある

電流測定端子と電圧測定端子は、別になっている

◆写真4.5.1　デジタルマルチメータ（DMM）の外観例

◆表4.5.1 デジタルマルチメータ（DMM）の仕様

測定機能	測定範囲	確度
直流電圧 オートレンジ	50.00mV 500.0mV 5.000～1000V	0.3% 0.06% 0.08%
交流電圧 オートレンジ	〔50Hz～60Hz〕 50.00mV～1000V	 0.5%
	〔40Hz～500Hz〕 50.00mV、500.0mV 5.000～500.0V 1000V	 0.8% 1.0% 1.2%
	〔20kHz以下〕 50.00mV、500.0mV 5.000～500.0V 1000V	 0.5dB 3dB
直流電流 オートレンジ	500.0μA～10.00A	0.2%
交流電流 オートレンジ	〔50Hz～60Hz〕 500.0μA～50.00mA 500.0mA 5.000A～10.00A	 0.6% 1.0% 0.6%
	〔40Hz～1kHz〕 500.0μA～50.00mA 500.0mA～10.00A	 0.8% 1.0%
抵抗 オートレンジ	50.00Ω	0.4%
	500.0Ω	0.2%
	5.000～500kΩ	0.2%
	5.000MΩ	1.0%
	50.00MΩ	1.5%
コンデンサ容量 オートレンジ	50.00nF、500.0nF 5.000μF 50.00μF 500.0μF 9999μF	0.8% 1.0% 2.0% 3.5% 5.0
ダイオード	5.000V	1%
周波数	5Hz～125kHz	±0.01%
温度	−50℃～1000℃	0.3%
導通	20Ω～120Ω	スレッショルドレベル

ここでDMMの仕様の見方で安定度と確度および温度係数について説明しておきます。

参考

確度は数字が少ないほど精度が高いことになります。

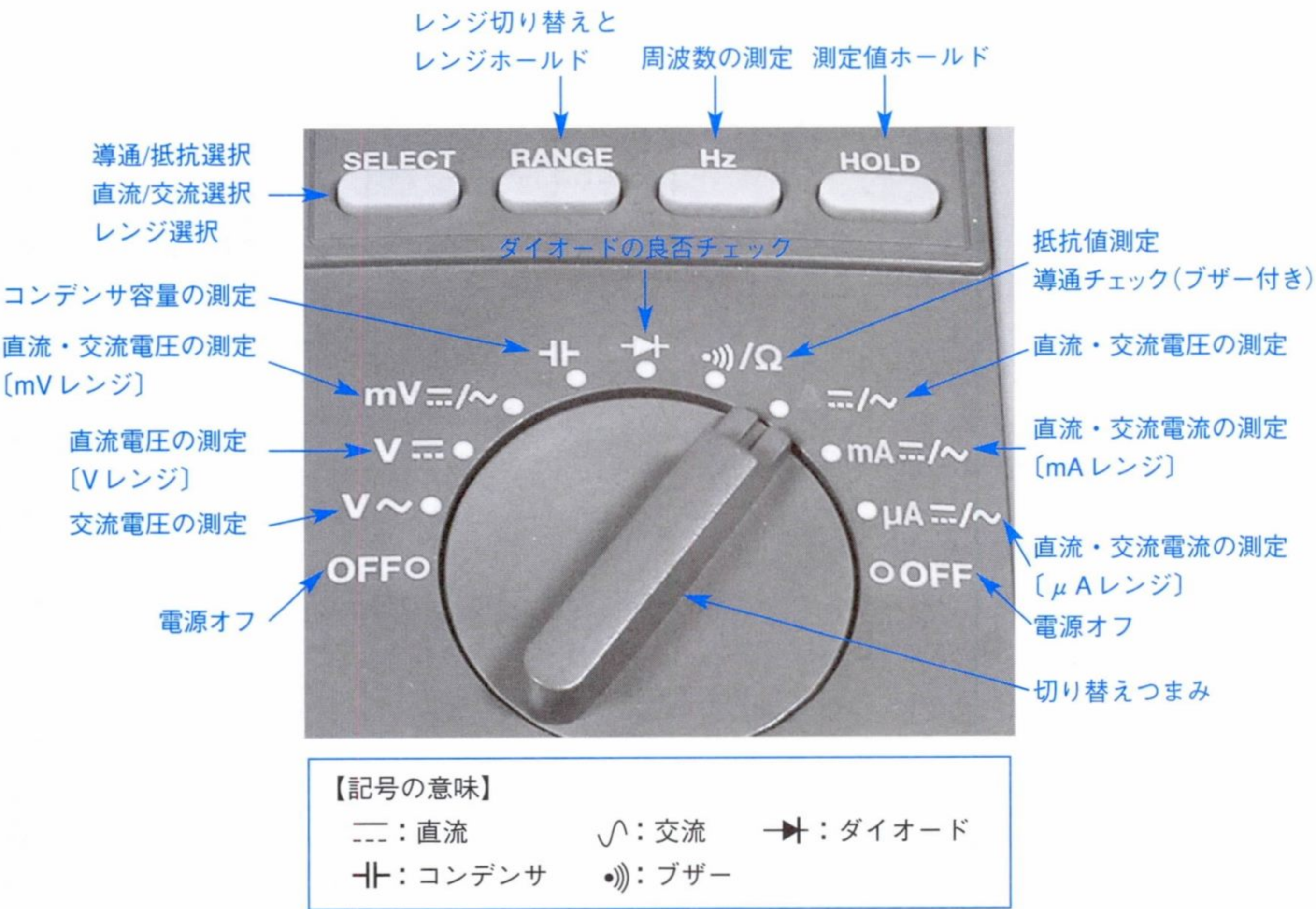
・**確度**：通常「±○○% of reading＋△△digits」で記されている。第1項は読み値に対する誤差で入力の大きさに比例する。第2項は入力によらない一定の値の誤差で表示のディジット数（下一桁）で表される（上表では第2項を省略している）。

国家標準に対する絶対的な誤差を示す。確度は積分時間や測定レンジによっても異なる。

・**安定度**：ある期間内の相対的な変動を示す。

切り替えスイッチには記号で測定対象の種類を示していますが、通常は図4.5.1のような意味になっています。

レンジ切り替えと
レンジホールド
周波数の測定
測定値ホールド
導通/抵抗選択
直流/交流選択
レンジ選択
SELECT
RANGE
Hz
HOLD
ダイオードの良否チェック
抵抗値測定
導通チェック(ブザー付き)
コンデンサ容量の測定
直流・交流電圧の測定
〔mVレンジ〕
直流・交流電圧の測定
直流電圧の測定
〔Vレンジ〕
直流・交流電流の測定
〔mAレンジ〕
交流電圧の測定
直流・交流電流の測定
〔μAレンジ〕
電源オフ
電源オフ
切り替えつまみ

【記号の意味】
⎓：直流　∿：交流　→|：ダイオード
⊣⊢：コンデンサ　•))：ブザー

◆図4.5.1　スイッチの記号と意味

4-5-2 デジタルマルチメータの使い方

実際にデジタルマルチメータ（DMM）を使うときの注意事項や測定方法について説明します。

用語解説

・レンジ
測定種別や測定範囲のこと。

■測定内容の決定

自分の行いたい測定にあわせ、「切り替えつまみ」を回して測定内容を決定します。まず測定内容が、電圧か電流か、あるいは抵抗かなどにより、さらに電圧や電流の場合には、直流か交流かにより切り替えが必要です。つぎに、測定値を予測し、この中からレンジの決定をします。実際にはほとんどオートレンジになっていますので、この選択は必要ないことが大部分です。例えば、ロジック回路の電源電圧（電圧：5V）の電圧を測定する場合でいえば、電源は直流ですからDC電圧測定レンジを選択します。

また通常プラス側の端子は電圧測定用と電流測定用に分かれていますので、それぞれの測定内容に合わせて接続変更が必要です。

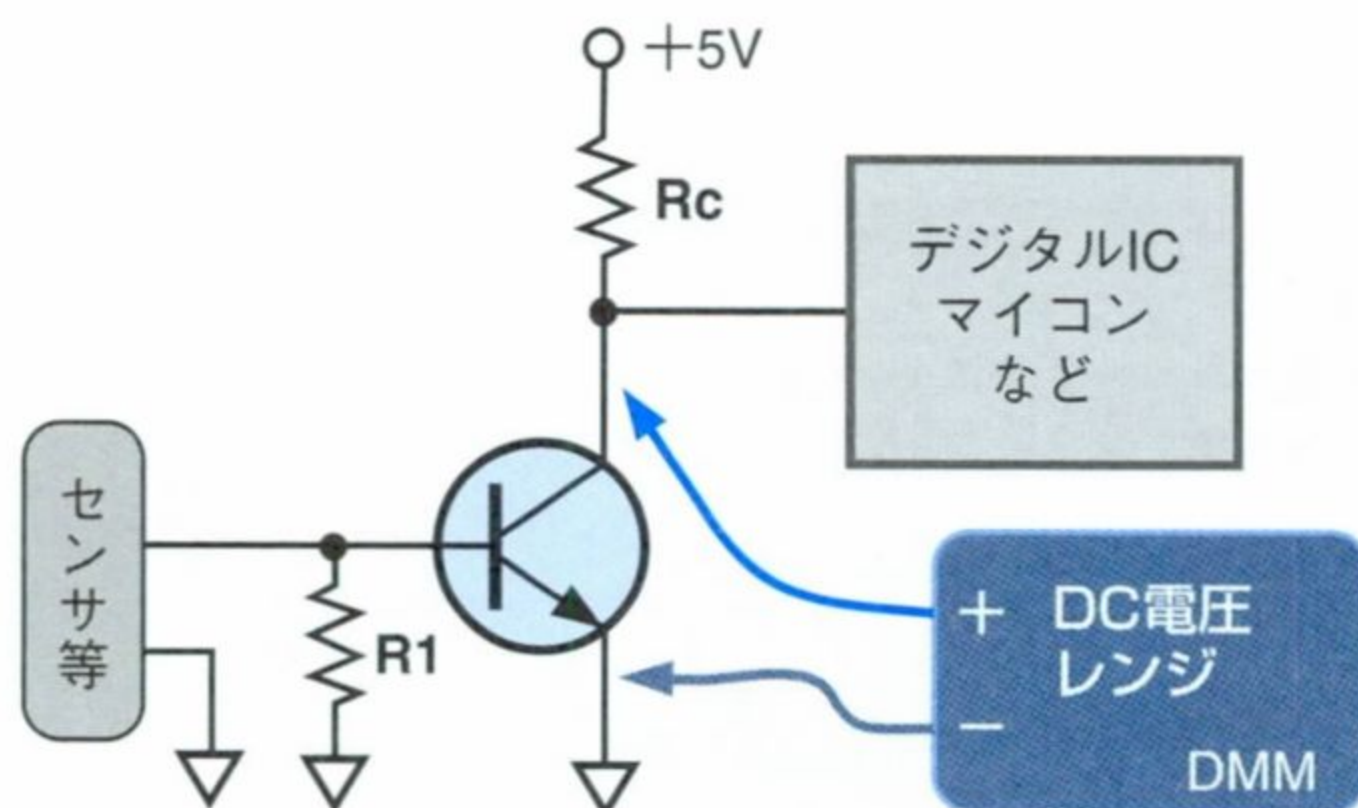
アドバイス

「切り替えつまみ」を「直流・交流電圧の測定」に合わせ、「SELECT」ボタンで「DC電圧測定レンジ」を選択します。

■電圧測定

常識

電圧は、対象の回路に並列に接続して測定する。

電圧測定の基本は、**対象の回路に並列に接続して測る**ということです。また、**直流回路の場合は極性（プラス、マイナス）に注意**が必要です。図4.5.2に測定のためのDMM接続例を示します。このプラス、マイナスは間違っても壊れることはなく、表示の＋と－が逆になるだけです。

◆図4.5.2　電圧測定方法

■電流測定

常識

電流は、対象の回路に直列に挿入して測定する。

電流測定の基本は、**対象の回路に直列に挿入して測る**ということです。また、**直流回路の場合は極性（プラス、マイナス）に注意**が必要です。逆に接続しても表示の＋と－が逆になるだけですので問題ありません。

図4.5.3に測定のためのテスター接続例を示します。図のように電流を計測するためには、**回路を切断してその間に直列にDMMを挿入する**ことになります。このときDMMを挿入したことにより、DMMの内部抵抗が回路に直列に挿入されたようになりますが、DMMの電流測定レンジでの内部抵抗は非常に小さく、0Ωとみなして構いません。つまり回路には影響を与えないということです。

注意

電流測定状態にしたまま、電源の電圧を測定しないこと（「切り替えつまみ」を確認する）。

注意　例えば電源の電圧を測定しようと思って、電流測定状態にしたままテストピンを当てると、電源を直接ショートしてしまうような接続となってしまうので、思わぬ大電流がDMMに流れてしまう。そのようなときのために安全ヒューズがついているが、危険なことには変わりはないので注意すること。

◆図4.5.3　電流測定方法

■抵抗測定

抵抗測定は、電圧測定と同じ要領で**対象に並列に接続して測ります**が、問題があります。それは、回路が接続された状態で測定すると、接続されたもの全ての抵抗の合成値を測ることになってしまうことです。つまり図4.5.2のようにして抵抗測定すると、実際には、電源を経由してトランジスタや電源の内部抵抗など、いろいろなものの合成した結果の抵抗値を測定してしまうことになるわけです。**抵抗値を測定するときは、必ず周りの回路を切り離した単体の状態で測定する**ようにします。

常識

抵抗は、対象の回路に並列に接続して測定する。ただし、抵抗値を測定するときは、必ず周りの回路を切り離した単体の状態で測定する。

教えて

私のテスターはΩレンジの表示が「×1、×10、×1k、×10k」となっています。どのように使い分ければいいのですか。

〔回答〕

これは表示された値に「×1、×10、×1k、×10k」を乗じたものが実際の測定値だという意味です。したがって×1kなら表示値がkΩということになります。

〔チャレンジ〕

はんだ付けする前の抵抗器の抵抗値を測定しみましょう。

■ダイオードの極性を知る方法

テスターの抵抗測定機能の応用として、ダイオードの極性がよくわからない場合にテスターを使って知ることができます。ダイオードには、一方の極（A：アノード）から、他方の極（K：カソード）へ向かっては、電流が流れやすく、その逆は、電流が流れにくいという性質があります。

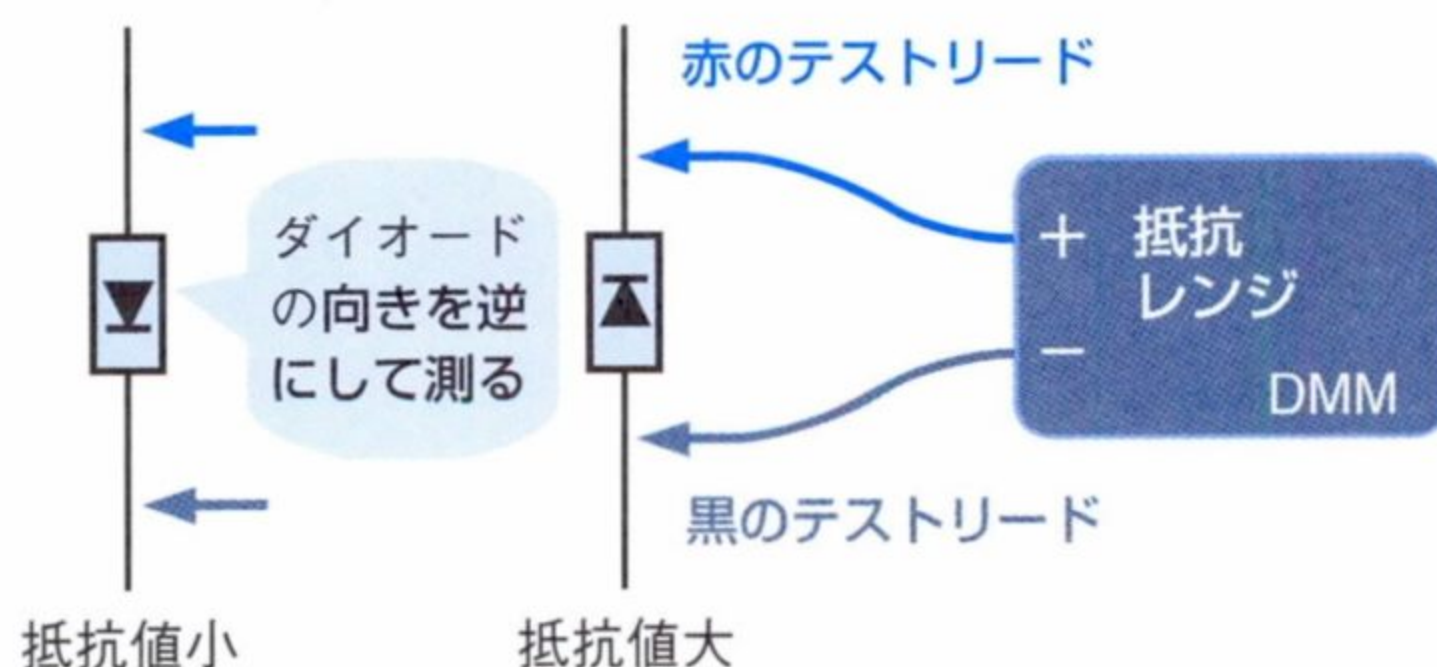
一方、テスターを抵抗測定とした場合、マイナス端子（黒のテストリード）と、プラス端子（赤のテストリード）の間で、一方向に向かって電流が流れる回路となっています。

したがって、**あらかじめ方向がわかっているダイオードで確認してから、わからないダイオードの抵抗値を測定すれば向きを知ることができます。**

例えば、マイナス側からプラス側に電流が流れるようなDMMであれば、導通がある（抵抗が小）ように指示されたときの、マイナス端子（黒のテストリード）を当てたダイオードのリード側から、プラス端子（赤のテストリード）を当てたダイオードのリード側に向かってが、ダイオードの導通方向であるとわかります。図4.5.4にダイオードの極性を知るためのテスター接続方法を示します。

参考

・**ダイオード**

ダイオードには、アノードからカソードへ向かっては、電流が流れやすく、その逆は電流が流れにくいという性質があります。

ダイオード

◆図4.5.4　ダイオードの向きを知る方法

本例のDMMにはダイオードテスト機能があり、ダイオードの順方向電圧降下値を表示します。これが0だったり無限大（断線の場合）はダイオード不良とわかります。

■交流電圧の測定

交流電圧測定も直流電圧測定と同じ接続方法で測定できます。しかし交流の場合には、低電圧の交流測定（100mV以下）では外部ノイズによる影響に注意が必要です。露出した測定リードがアンテナの役割を果たして、電磁波や商用電源か

常識

交流電圧測定も直流電圧測定と同じ接続方法で測定できる。注意点があるので、右の解説を参照すること。

らの誘導ノイズが測定値に誤差を生じさせる場合があるので、シールド線の使用や測定系全体のシールドが必要になります。

さらにDMMで交流測定という場合には、DMMの保証周波数範囲に注意が必要です。通常は数10Hzから数kHz程度が多いのですが、この範囲外の周波数の測定では誤差が大きくなりますので注意が必要です。

■交流電流の測定

常識
交流の場合も直流と同じ方法で電流を計測できる。

交流の場合も直流と同じ方法で電流を計測できます。この電流の場合も、微小な電流測定の場合には、外部ノイズによる誤差に注意が必要です。

■コンデンサ容量の測定

参考
コンデンサ容量を測定できる機能がついていないDMMでは測定できません。

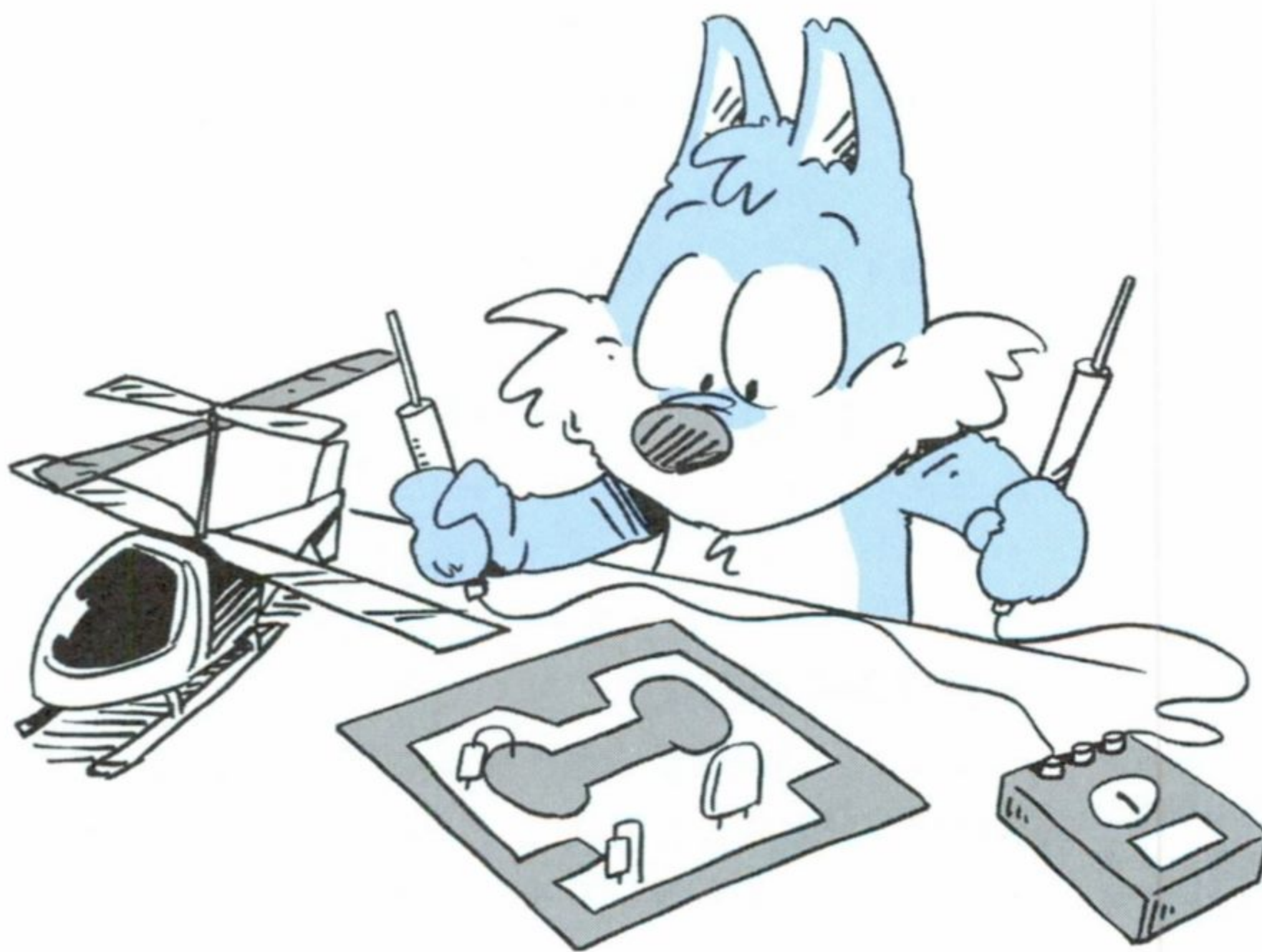
容量の大きなコンデンサの場合には、長めのリード線で接続しても誤差の心配はありませんが、数100pF以下の容量を計測するときは、リード線間の浮遊容量による誤差が加わりますので、できるだけ短いリード線で計測した方が誤差が少なくなります。

■導通テスト

参考
「切り替えつまみ」を「ブザー／Ω」にあわせます。

アドバイス
断線していると、ブザーはなりません。

パターンや回路チェックのために、接続されているかどうかを抵抗値を計ることで確認できます。数10Ω以下の抵抗値であればその間は配線されているとみなし、ブザーで知らせます。写真4.5.2はパターンの導通チェックをしているところです。

◆写真4.5.2 パターンの導通チェック

4-5-3 オシロスコープの使い方

オシロスコープは目に見えない電気の現象を小型の液晶表示器などに目で見えるようにしてくれる測定器で、電子工作を続けていくときにはぜひ揃えたい測定器です。最近はデジタル方式のものもかなり安価になってきましたので機会があればぜひ揃えましょう。どんなものがよいかといえば、上を見ればきりがないのですが、私たちの電子工作用としては下記のようなレベルで選べば十分実用になります。

・デジタルかアナログか

最初から最後までアナログ信号のままで増幅して表示するようにしたものがアナログ方式で、通常はブラウン管で表示します。これに対し、信号を高速でサンプリングしてメモリに保存し、それを液晶表示器などに表示するものがデジタル方式です。いずれにも一長一短あるのですが、最近はデジタル方式の方が安価で高機能になっていますし、使いやすいと思いますのでデジタル方式の方がお勧めです。

・チャネル数（現象）

表示器に同時に表示できる波形の数を言います。たくさんできるに越したことはありませんが、2チャネル以上であれば問題ないでしょう。

・周波数特性

どれくらいの周波数まで波形として観測できるかという性能です。これも上をみればきりがないのですが、最近多くなってきたマイコンなどは数10MHz程度で動作しますから、100MHz以上のものにすれば将来も問題なく使えるでしょう。

・トリガーモード

表示するタイミングを設定する機能で、これに関連する機能はデジタル方式の方が圧倒的に優れています。

・リードアウト機能

直接の性能ではないのですが、画面の端に掃引時間や電圧感度、チャネル番号、日付などを数値で表示してくれる機能です。なくても問題は何もないのですが、写真を取って整理しておくことなどを考えると便利な機能です。これもデジタル方式では当たり前になっていますが、最近のアナログ方式でも標準搭載されていることが多くなりました。

■デジタルオシロスコープの前面パネル（主要機能）

以降は筆者が使っているデジタルオシロスコープを使った例で実際の使い方を説明していきます。

まず前面パネルを写真4.5.3に示します。多くのつまみやコネクタがあり最初の

内は戸惑うかもしれませんが、大部分が自動的に設定されますし、慣れてくれば簡単に操作できるようになります。波形が観測できるようにするまでの操作方法を順に説明していきます。

補助機能設定
トリガ関連設定
表示モード
(オートセット/単発波形)
横軸位置制御
掃引設定
時間軸設定
4チャネルごとの
ゲイン設定
表示有無設定
表示位置設定
液晶表示画面と
各種リードアウト情報
表示画面に合わせて
機能設定されるボタン
プローブ較正用
基準信号出力端子

◆写真4.5.3 デジタルオシロスコープの例

■電源投入後の最初はプローブの調整

基本的な動作は大部分自動設定で動作しますので、とりあえず波形表示はすぐできます。しかし、測定用プローブにはそれぞれ特性がありますので、まずプローブを基準の状態に較正します。この調整用としてオシロスコープには較正用の基準信号が出力されています。

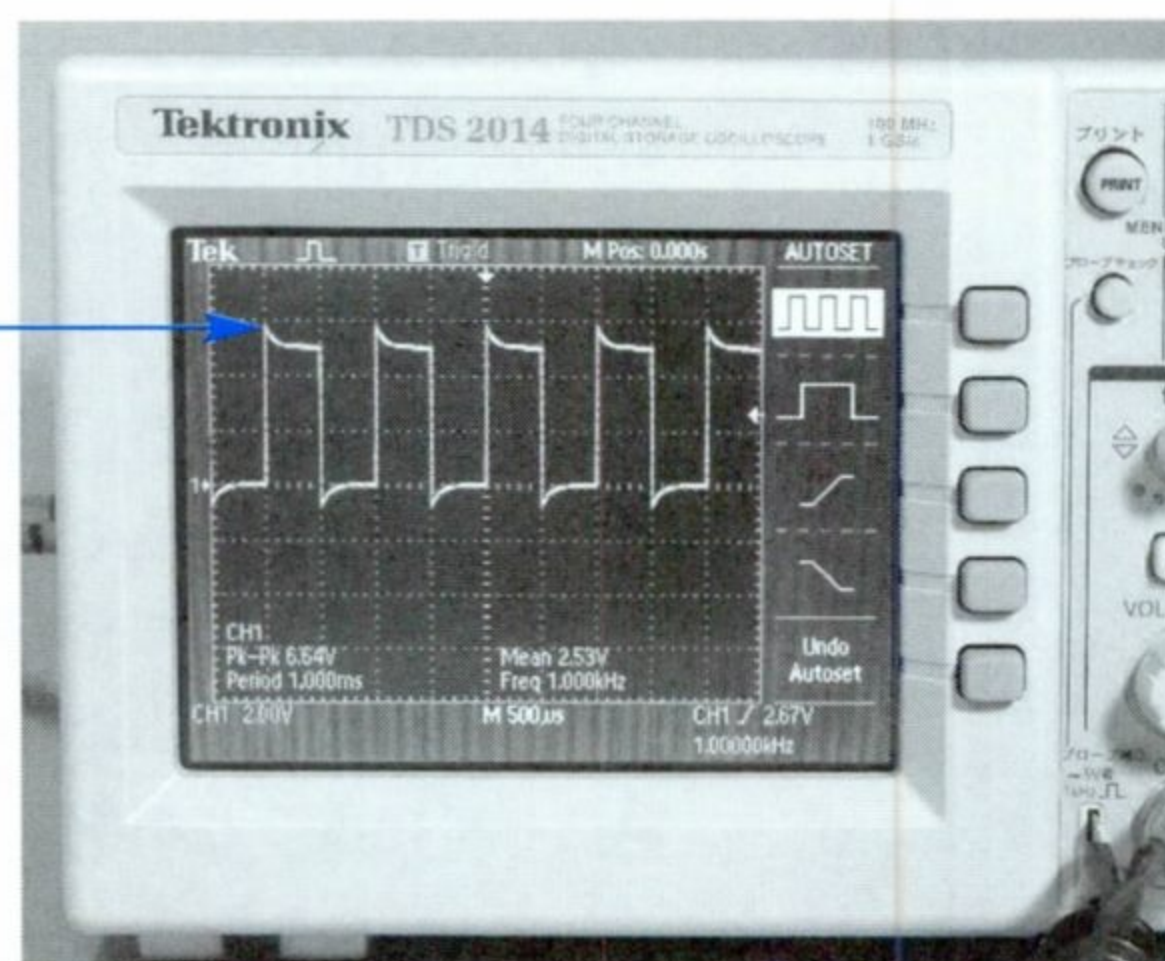
調整は、使用するチャネルのプローブ先端を較正用基準信号出力ピンに接続して行います。「オートセット」ボタンを押せば写真4.5.4のような矩形波が表示されます。表示された矩形波が写真4.5.4のように矩形波の角が直角でなく、丸くなったり尖ったりして歪んでいる場合はプローブの調整をします。

用語解説

・プローブ
測定する回路からの信号を取り出すために用いるツール。オシロスコープに接続する。

アドバイス

プローブの調整は、写真4.5.5を参照してください。

矩形波の角が異常に
尖っている

◆写真4.5.4 テスト矩形波の表示

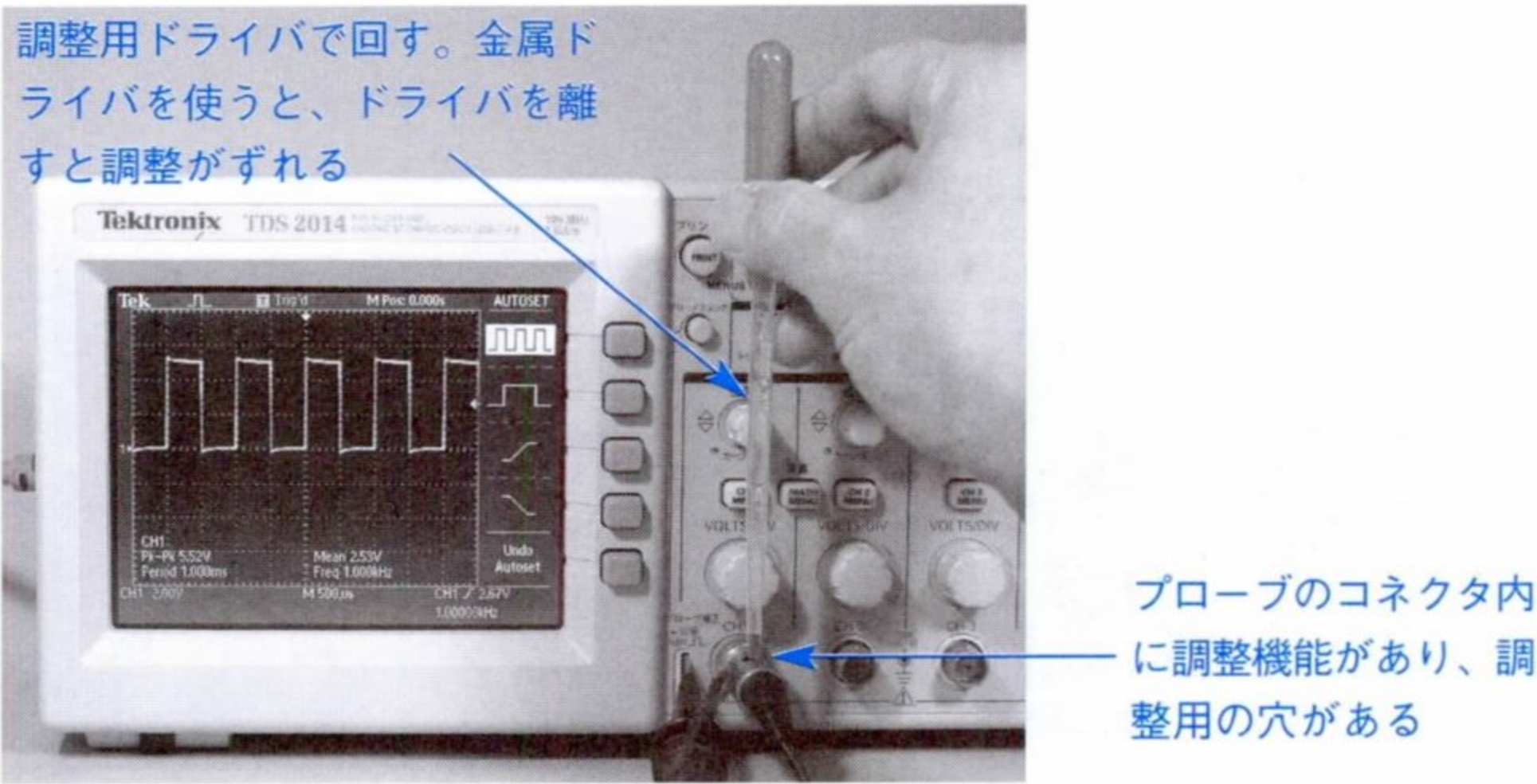
常識

調整用ドライバを利用します。

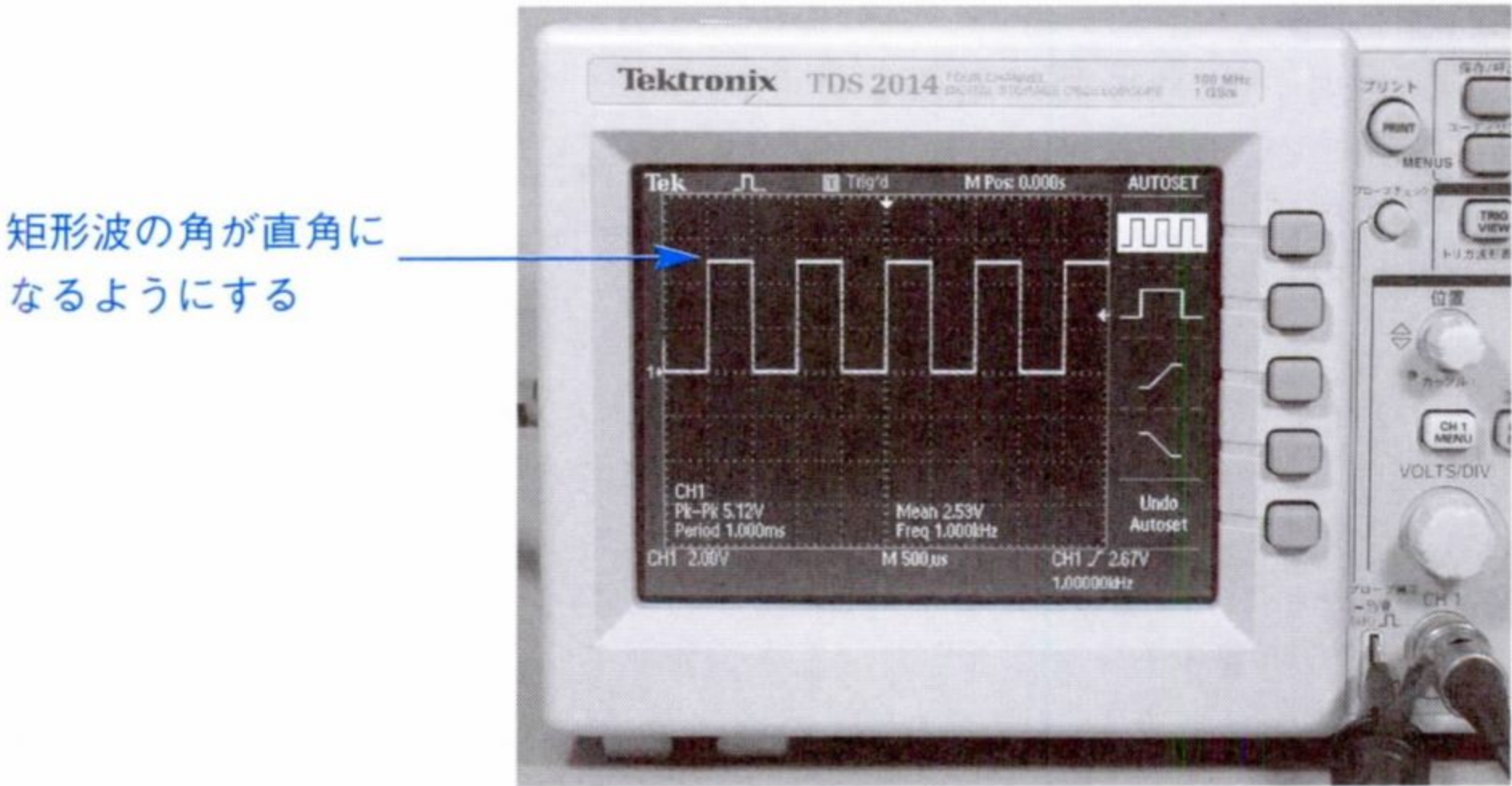
通常のプローブには1倍と1/10倍の切り替えスイッチがあります。特性調整機能は1/10倍の方でしか有効ではないので、プローブは常時1/10倍の方で使います。

したがって、入力の電圧は常に1/10倍されてしまいますがオシロスコープの表示は正常に表示されるようになっています。プローブ特性調整用の機能がプローブのコネクタ側に組み込まれていてネジ形式になっていますので、調整は写真4.5.5のように調整用ドライバで回します。

調整用ドライバで回す。金属ドライバを使うと、ドライバを離すと調整がずれる

プローブのコネクタ内に調整機能があり、調整用の穴がある

◆写真4.5.5　プローブの調整中

プローブの調整穴から調整用ドライバを使って調整し、写真4.5.6のように角がシャープな直角の矩形波になるようにします。これで最初のプローブの較正は終了です。

矩形波の角が直角になるようにする

◆写真4.5.6　プローブ較正後の波形

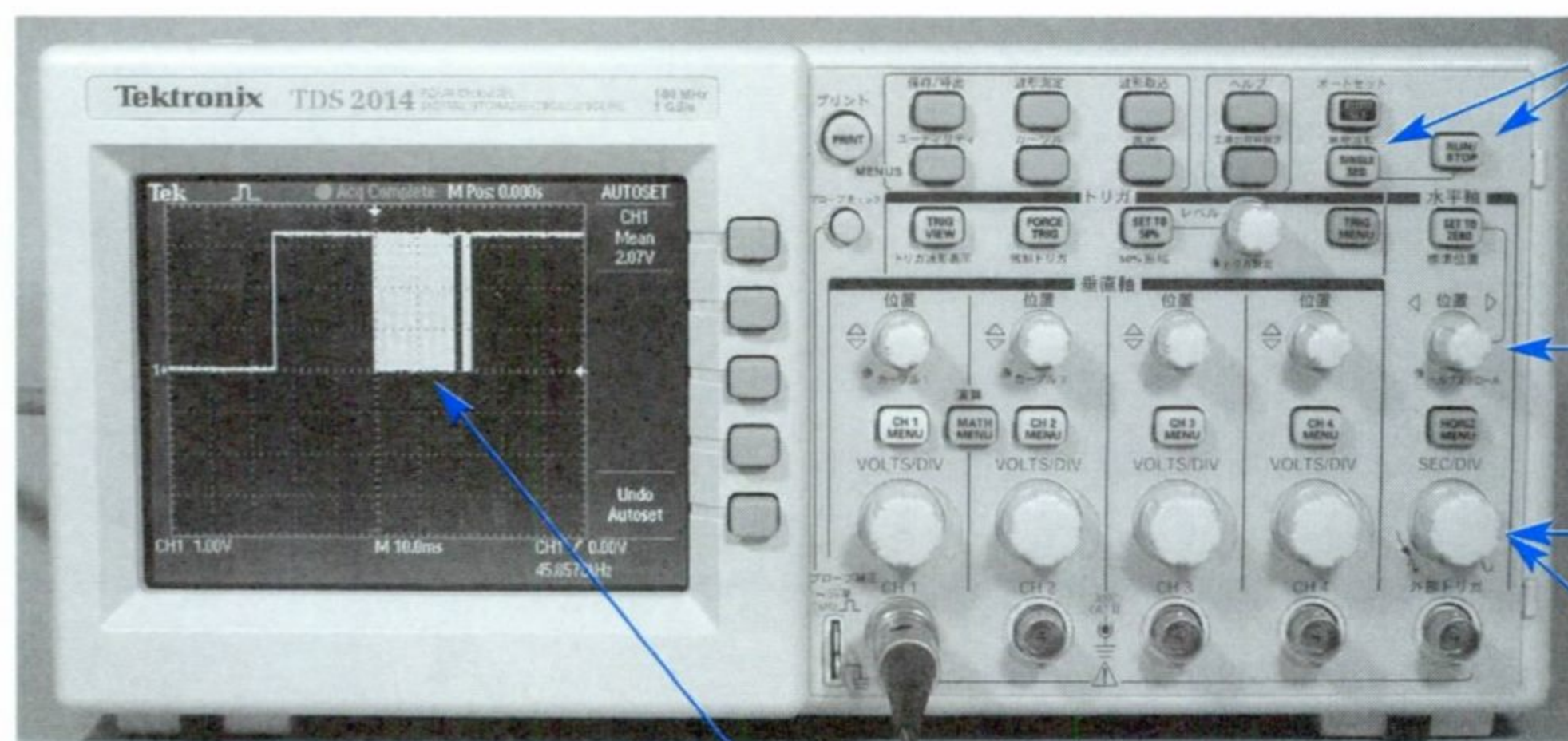
■実際の波形観測：単発現象の表示

一定周波数の連続信号の表示は、オートセットとするだけで簡単に表示されます。しかし、1回だけしか出力されない信号があります。このような場合の表示方法はどのようにすればよいのでしょうか。

オートセットのままでは一度表示されても、すぐ次のスキャンに入ってしまうため、消えてしまいます。これでは単発現象を観測できません。そこで、**「単発波形」ボタン**を押します。これで信号の入力待ち状態になりますので、ここに信号が入ればデータをメモリに保存して表示します。しかし時間幅は適当かどうか決められませんので、掃引時間を適当に変えてから再度「単発波形」ボタンを押す

アドバイス
・単発波形ボタン
データをメモリに保存して表示する機能。

と再入力待ちになりもう一度繰り返します。こうして適当な時間軸で表示した例が写真4.5.7となります。こうして信号が捕まえられたら時間軸を変更して拡大縮小して観測します。

　このように、デジタルオシロスコープは入力した波形を記憶できるので単発現象を観測するには便利です。

単発波形ボタンを押して、信号入力を待つ。
再入力するときは単発波形ボタンを押す。

波形位置の左右をずらすのに使う

波形表示が画面に納まらないときは、時間を変更して再度やり直す

表示された波形を拡大縮小するときも時間を変える

単発現象部分の波形。
拡大するには時間軸を変更する。
左右に波形を動かすには位置のダイアルを使う。

◆写真4.5.7　単発現象の観測

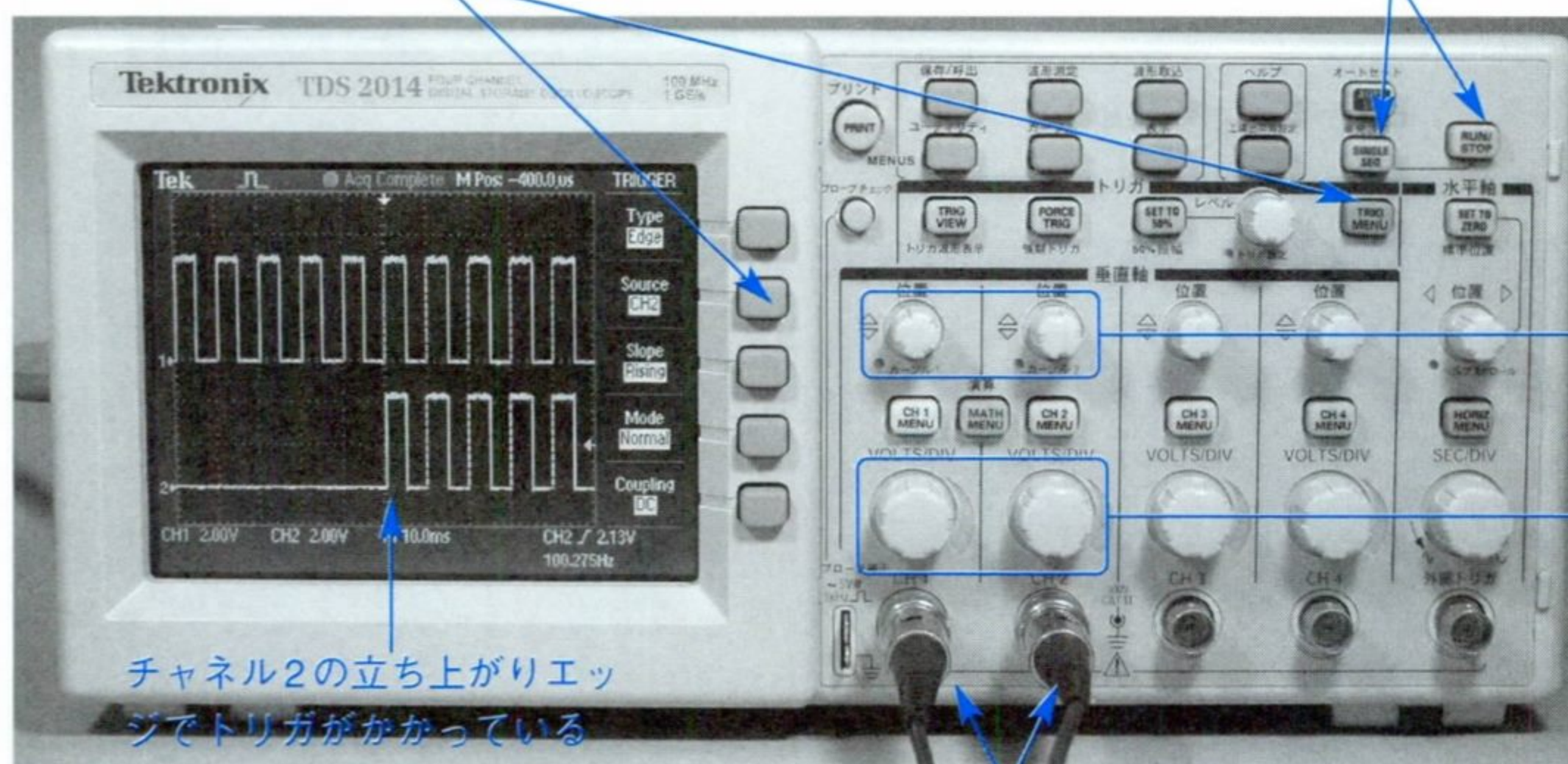
■2チャネルによる観測

アドバイス

2チャネルの信号を同時に表示し、信号の前後関係を見ることができます。

　特にデジタル回路では信号のタイミングが問題になります。そのため複数の信号の前後関係を見たいことが多くなります。このための機能が多チャネル表示になります。2チャネルの場合には、CH1とCH2にそれぞれの信号を表示しておき、TRIGボタンを押すと表示されるボタンメニューに従って、トリガーをどちらの信号のエッジにするかを選択します。これで、写真4.5.8のようにトリガーをかけた方の信号のエッジを基準にして、もう片方の信号が表示されますので、掃引時間がわかっていますから時間的なズレを測定することができます。

TRIGボタンを押すと、画面にボタンメニューが表示されるので、これでトリガをするチャネルとエッジを選択する

単発波形ボタンを押して、信号入力を待つ。
再入力するときは再度単発波形ボタンを押す

各チャネルの表示の上下位置を動かす

各チャネルの表示の上下幅を変更する

チャネル2の立ち上がりエッジでトリガがかかっている

2つのプローブを使って2つの信号を入力

◆写真4.5.8　2チャネルの観測例

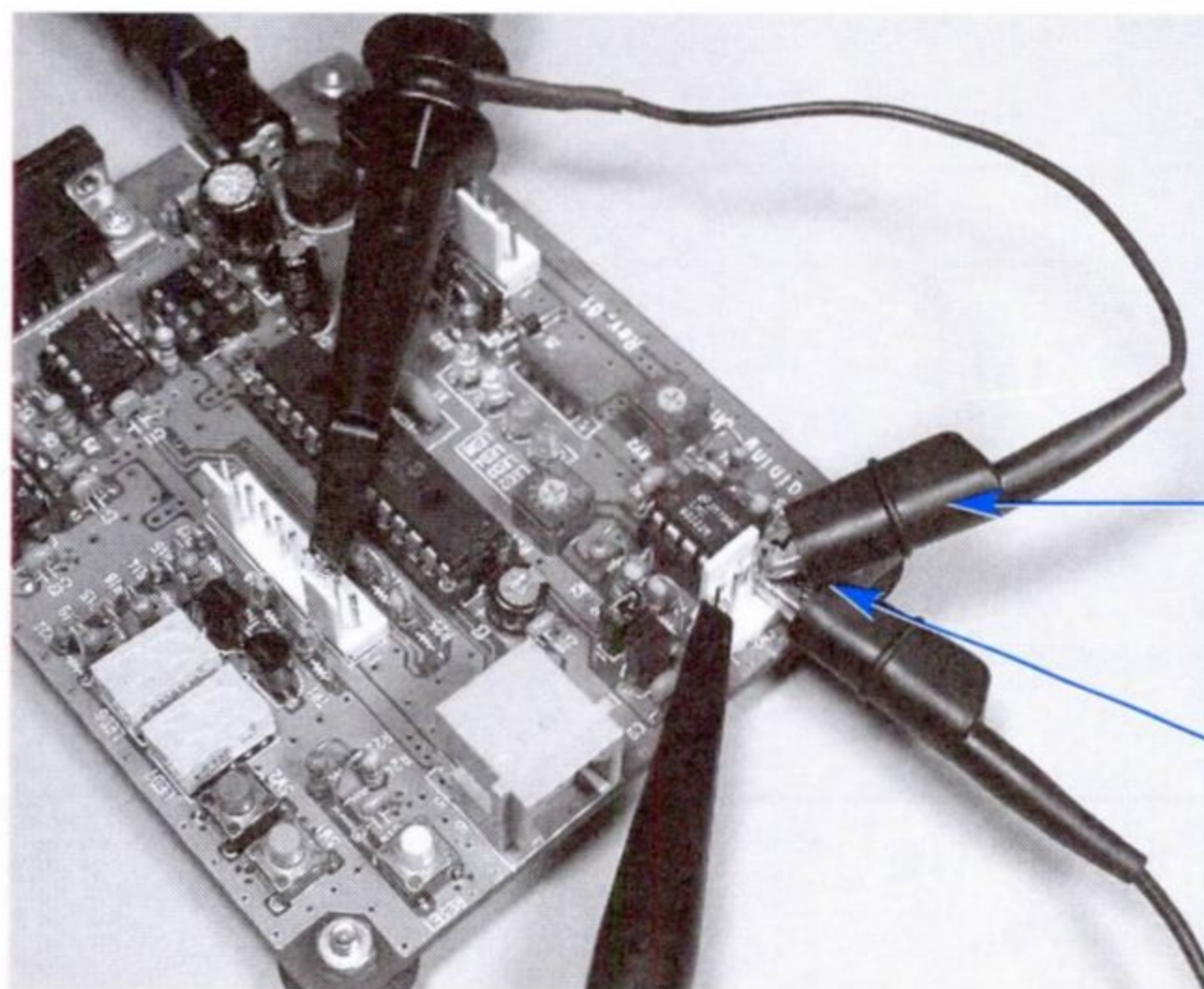
常識

プローブのグランドは、プローブで測定する対象のすぐ近くのグランドピンに接続する。

また、2チャネル表示の場合は、必ず両方ともグランドピンに接続する。

■グランドの取り方

オシロスコープで常に気をつけなければならないことは、プローブのグランドの取り方です。通常プローブの途中からグランド接続用のクリップが出ていますが、グランドは、プローブで測定する対象のすぐ近くのグランドピンに接続するようにします。そうしないと、グランドと信号との間が離れてしまい、その間にある回路から余計なノイズ成分を拾ってしまうため、オシロスコープの表示が正しいものでなくなってしまうことがあります。特にデジタル回路とアナログ回路が混在する場合には注意が必要です。

また、2チャネル表示の場合には、片方のプローブだけをグランドに接続すれば表示は確かに2チャネルとも表示されるのですが、これも場合によってはノイズなどで正常な表示ではなくなってしまうことがあります。そこで、プローブのグランドは写真4.5.9のように必ず両方ともグランドピンに接続するようにします。

プローブのグランドピンはみの虫クリップになっている。

両方のプローブのグランドを同じところに接続する。

◆写真4.5.9　プローブのグランドの取り方

4-5-4　パソコンを利用したオシロスコープ

パソコンは多くの方が持っているでしょうから、これを利用して簡易なオシロスコープとすることができます。

パソコンのオーディオ入出力機能とフリーウェアのソフトを利用すれば、パソコン以外に費用はかかりません。

オーディオ機能を使いますから、オーディオボードの特性のよいパソコンを使っても数kHzまでの波形観測にしか使えませんが、それでもまったく眼で見えない電気信号を眼で見ることができますから、強力な道具になることは間違いありません。

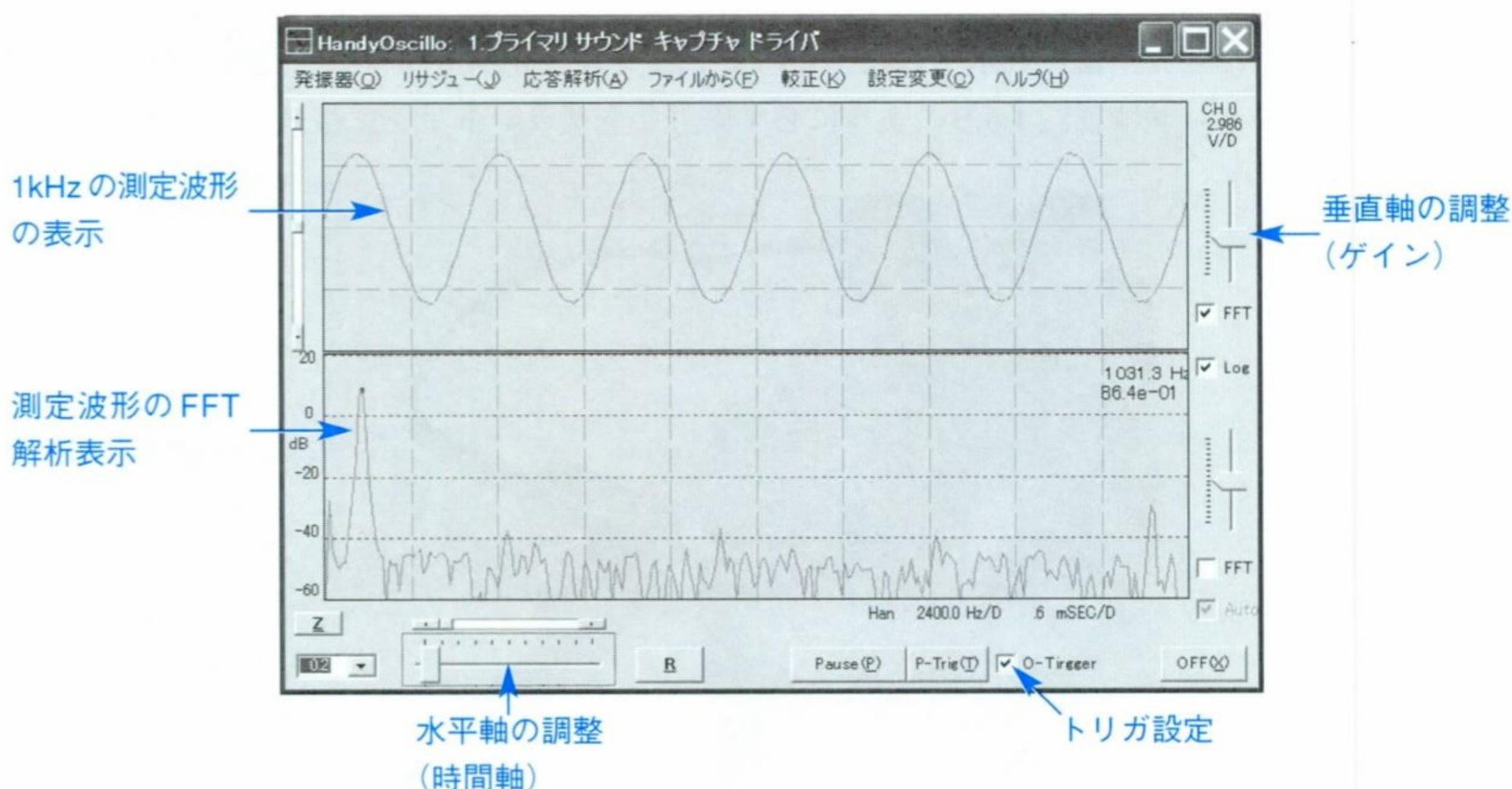
筆者が使いやすいと感じたのは、鳥谷 隆さん作の「ハンディ・オシロスコープ」です。波形の表示だけでなくFFT解析や周波数応答特性解析などかなり高機能です。さらに波形の発振器機能もありますので、ちょっとした信号のテストには十分使えます。

入手は下記からダウンロードできます。

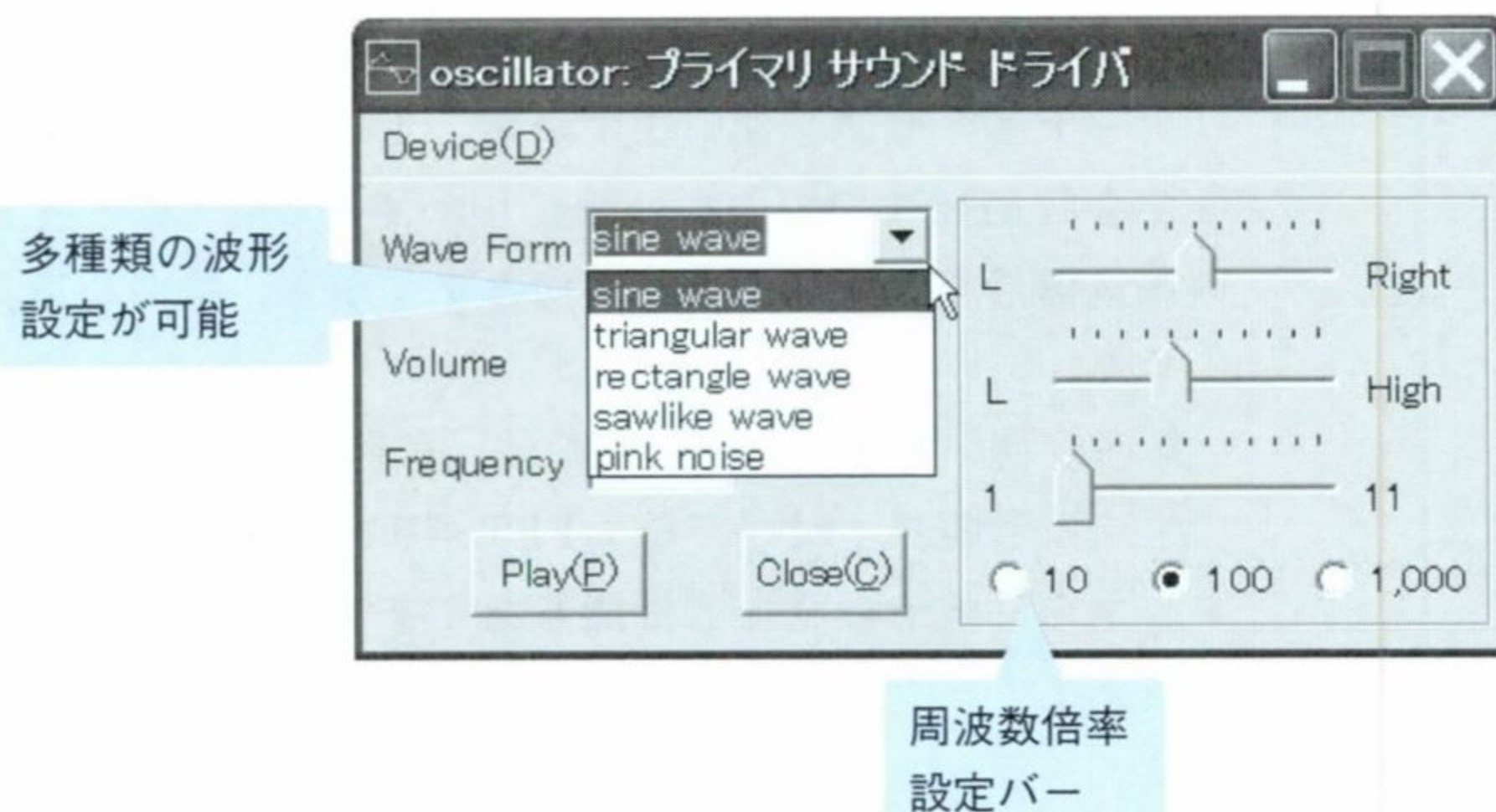
http://www.vector.co.jp/vpack/browse/person/an042698.html

参考
操作方法など詳しくは「ハンディ・オシロスコープ」のマニュアルをご覧ください。

ダウンロードすると立派な日本語マニュアルも付いていますから、使い方に困ることはないでしょう。

オシロスコープとしての画面例は図4.5.5のようになります。1kHzの正弦波を入力したときの表示で、かなり正確に表示されています。筆者のパソコンでは20Hz～5kHz程度までは正弦波として見られました。

◆図4.5.5　オシロスコープ画面表示例

次に発振器機能の設定画面例を図4.5.6に示します。これで正弦波、矩形波、三角波、のこぎり波、ピンクノイズが出力できます。

発振器とオシロスコープは同時に動作可能ですので、周波数応答を観測するときなど便利に使えます。

◆図4.5.6　発振器機能の設定画面例

4-6 動作チェックノウハウ

アドバイス

基板を作成したら、ケースに組み込む前に必ず動作チェックをするようにしてください。ここでミスを修正しておきます。

私たちが電子工作で何か製作したとき、一発で完全に動作することは珍しいと思います。何らかの間違いがあって、正常には動作しないことがほとんどです。筆者自身も作りっぱなしで100％動作OKとなることはまずありません。しかし長年電子工作を続けていると、経験により現象を見れば不具合原因がすぐ特定できるようになってきます。ここでは、その経験に培われた「勘」のところを解説していきます。

4-6-1 製作後のチェック

参考

動作不良の90％がはんだ付けの不良だといわれています。

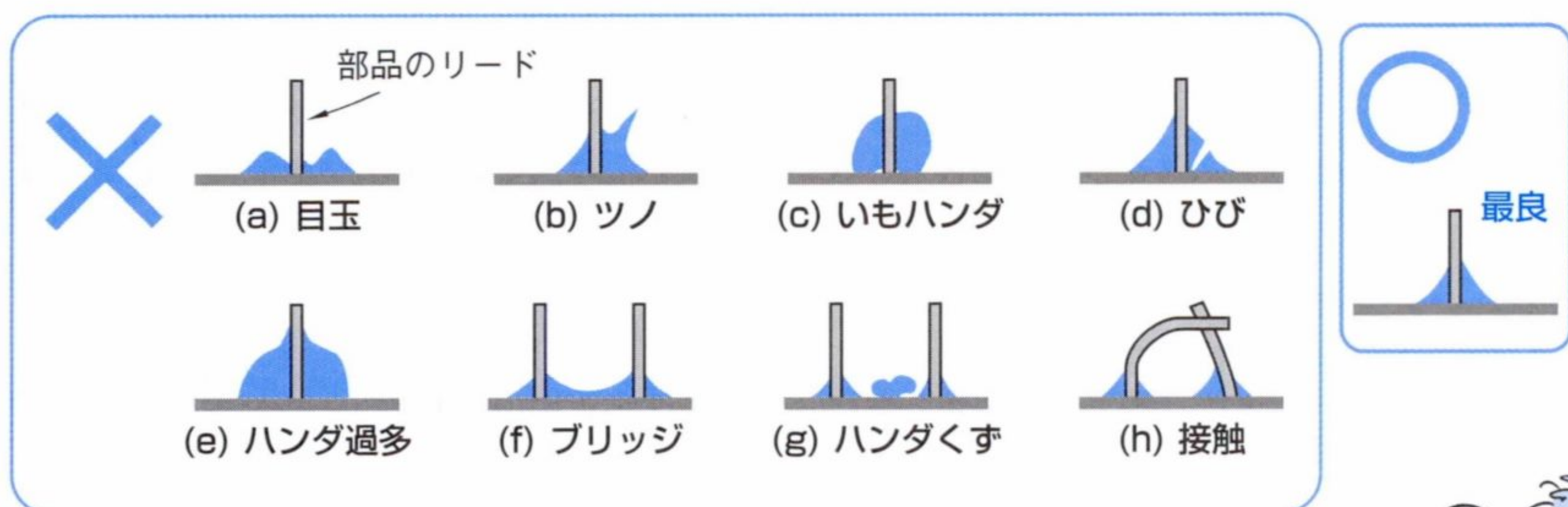
電子工作での不具合の大部分は単純な間違いです。しかし、電子工作を始めたばかりの方々の起こす不具合は、まずはんだ付け不良がトップです。そのようなことを含めて**製作完了後には次のチェックを必ず実行**します。

アドバイス

デジタルマルチメータで導通テストを行うことで、はんだ不良を確認することもできます（導通していない箇所のはんだ付けを再度やり直す）。

一見、良好のように見えても、ランドから浮いていたり（いもハンダ）、隣同士がくっ付いていたり（ブリッジ）する場合があります。必ずチェックするようにしましょう。

■はんだ付けの不具合の確認

はんだ付けの不具合には、図4.6.1のように非常にたくさんのパターンがあります。これらのチェックは組み立てる途中でも当然しているのですが、特に一見はんだ付けができているようで、実は**電気的には接触不良になっているというケースが大部分**です。そこで確実にはんだ付けをチェックするには、一通りはんだ付けが完了したあとのチェックで、**はんだこてを持って1箇所ずつはんだを溶かし直しながらチェックする**のが、初心者の間は確実でよい方法です。プリント基板の場合には、大抵の部品は2箇所以上がはんだ付けされているので、1箇所のはんだ付けを溶かしても部品が外れることはないので簡単にできます。

◆図4.6.1 はんだ付け不良の種類

常識

右の項目をすべてチェックする。

チェックする際には、次のことを念頭において行います。

- はんだが隣のパターンやピンと接触していないか？
- 切断後のリード線が隣のリードと接触していないか？
- はんだがきれいに溶けず、盛り上がったままになっていないか？

・部品の極性を間違えていないか？
・ICソケットのピンの付け忘れはないか？
・はんだ屑が残っていないか？

■部品の実装方向のチェック

アドバイス
極性のある部品の向きをチェックします（回路図、組み立て図などを利用して行います）。

実装するときに方向性がある部品については、特に念入りにチェックします。このときのチェックポイントは下記のような項目です。

参考
・LED

・ダイオードの向き
なかでも発光ダイオードは向きがわかりにくいので注意が必要ですが、中身が透けて見える発光ダイオードでしたら、ピンのモールド内部の形状で向きが確認できます。

・3端子レギュレータの向き
安定した電源を作り出す3端子レギュレータですが、ピン配置が種類ごとに異なっているので注意が必要です。特に正電源用と負電源用でも異なりますし、100mA用と1A用の大きさによっても異なっているので注意が必要です。

・ICソケットの向き
これは基本的なことですが、案外間違っていることがあります。特に部品面からと、はんだ面から見たときの違い、つまり裏表を勘違いしていることが多いようです。

・電解コンデンサの向き
特に電源部分に使われていることが多く、向きを逆にすると破裂しますので注意が必要です。

注意
電解コンデンサの向きに注意する。

・コネクタの向き
簡易コネクタの場合には実装の向きが特定できず、どちらでも実装できてしまうものが多いので、ケーブル側との相性を確認する必要があります。

4-6-2 電源投入時のチェック方法

配線や、実装の間違いがないことが確認できたら、いよいよ電源を投入してみましょう。しかし、いきなり電源を投入して部品を壊すのももったいないでしょうから、まずは下記の手順で進めましょう。

■注意事項

電源を最初に投入するときは、次ページのようにします。

COLUMN デジタルマルチメータで導通チェック

プリント基板や配線のはんだ付けが終わったら不安なところはテスターの導通チェックではんだ付けの確認ができます。

テスターを導通チェックのレンジに切り替えてブザーを鳴らす状態にしてから、接続されているはずの端子にテスターのテストピンを接触させて、ブザーが鳴れば導通していて接続は問題ありません。鳴らないときははんだ付け不良か、配線ミスですのでチェックしやり直しが必要です。

・ICソケットには実装しない

ICソケットへのICの実装はしないままとします。

・コネクタは接続しない

電源以外の外部接続用のコネクタへの接続は、何もしないでおきます。万一間違って接続相手を壊してしまうのを避けるためです。

■電源投入後の確認

アドバイス
電源をONすると表示される部品（LEDなど）が点灯するか確認し、点灯しないときは、すぐに電源を切ってください。

以上の状態で電源をONとしたら、電源表示器が点灯しているかを確認します。大抵の回路を作成したとき、発光ダイオードやインジケータなど、電源ONで表示される部品を用意してあるので、それがとにかく点灯していることを確認します。

これが点灯していないときは、電源回路に何らかの不具合があると考えられます。すぐ電源をOFFして電源回路周辺の確認をします。多くの場合、下記のような不具合が見つかります。

- ・電源配線抜け
- ・整流ダイオードを使っていればその接続方向の間違い
- ・3端子レギュレータの実装向きの間違い
- ・スイッチの接続間違い

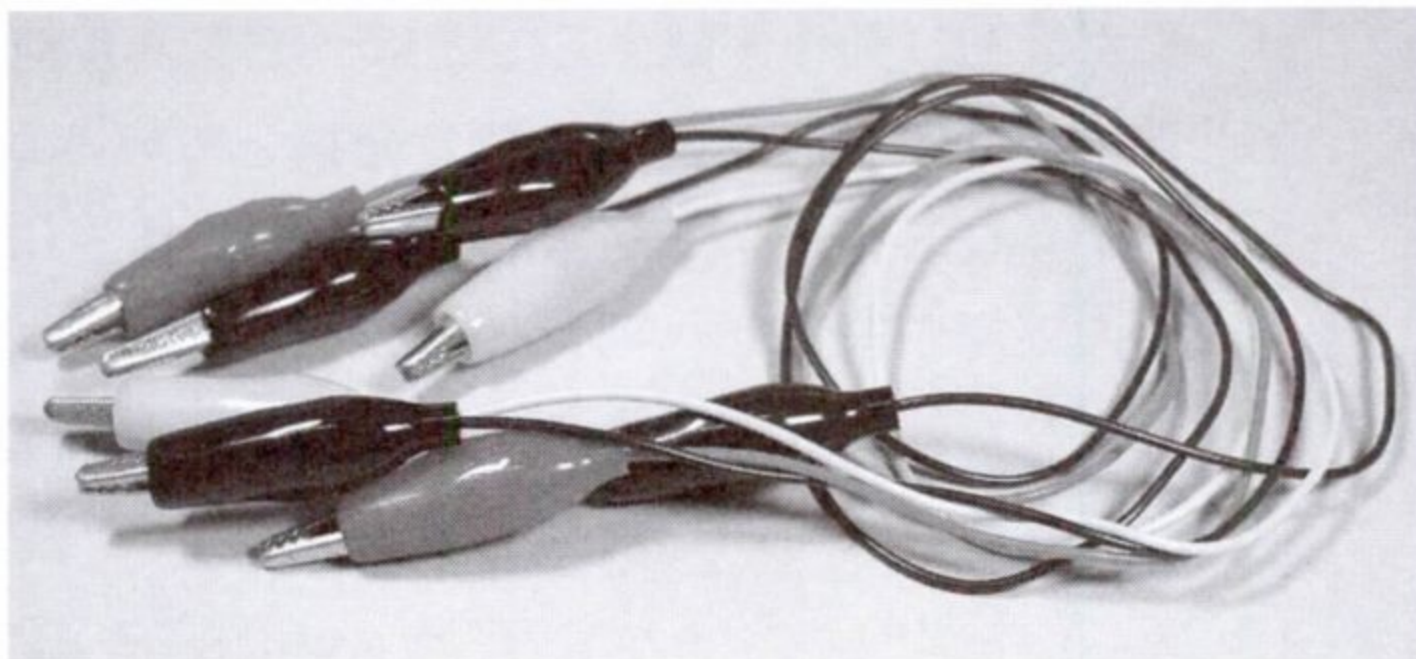
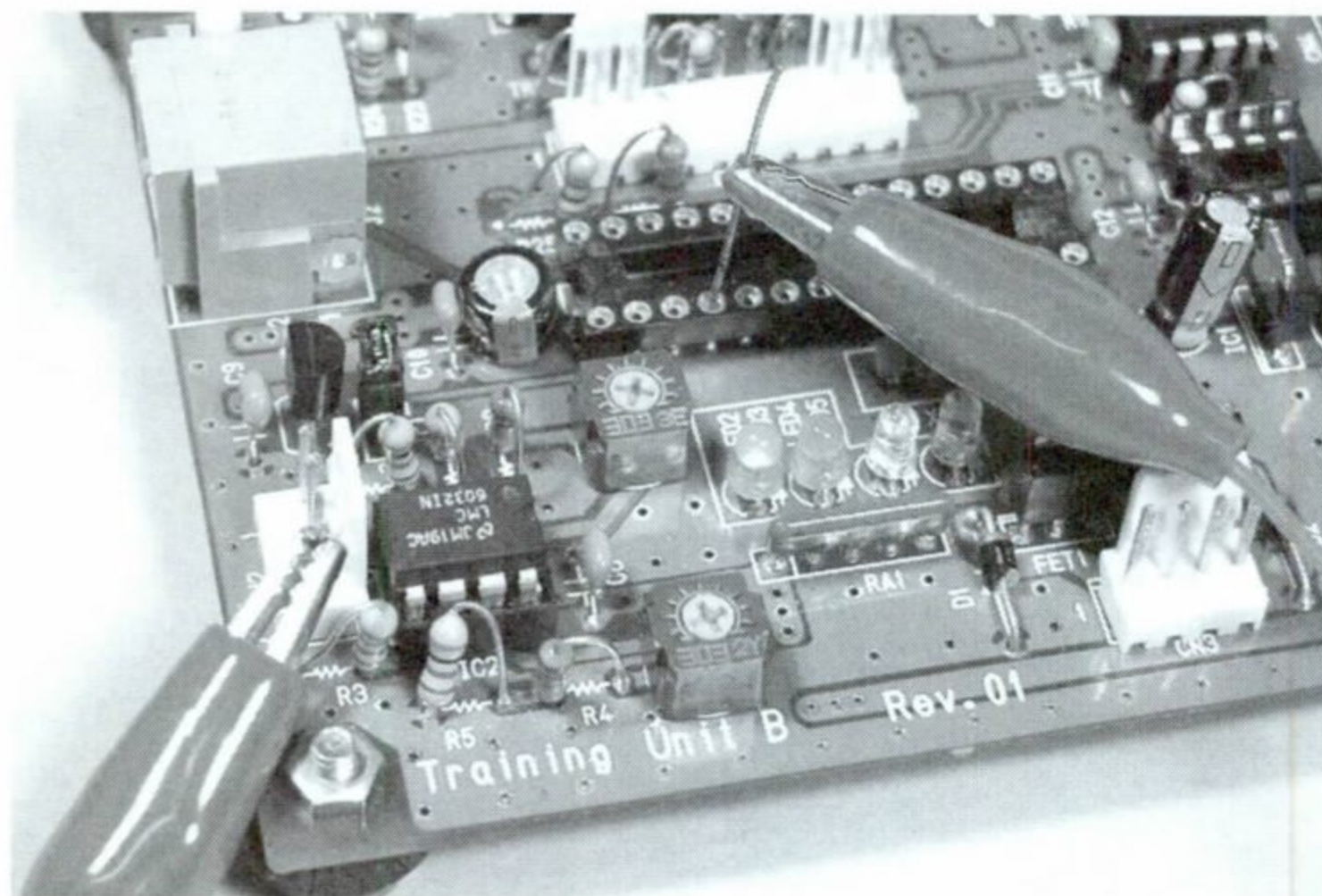
表示が正常であることが確認できたら、念のため電源電圧を確認しておきましょう。特にプラス、マイナスや複数の電源を必要としている回路は、念入りにDMMで電圧をチェックしておきます。

■ICなしで動作確認する

ICを実装しないでも動作を確認できることがいくつかあります。ここでそれらを確認しておきます。

・マイコンなどの出力ピンの動作確認

参考
みの虫クリップが付いたケーブルです。

例えば発光ダイオードを点灯させるような回路の場合には、マイコンのICソケットのピンのところで、写真4.6.1のようなクリップケーブルを用意しておき、写真4.6.2のようにクリップに抵抗のリード線の切れ端などを挟んでICソケットのピンに接触することで、グランドや電源に仮接続して動作を確認することができます。

◆写真4.6.1　クリップケーブル

◆写真4.6.2　LEDの動作チェック

・入力ピンの確認

スイッチの入力も、スイッチを受けるICのピンのところで、DMMで電圧を測ることで確認できます。

用語解説

・DMM
デジタルマルチメータ。

■ICなどを実装して電源を投入する

一通りのチェックが確認できたら、いよいよICなどをICソケットに実装して動作させてみます。そして電源を投入したらすぐ、電源まわりの部品で熱くなっているものがないか、手で触って確かめます。ICの逆向き挿入や、回路の間違いがあると、過電流が流れることが多く、特に3端子レギュレータがすぐ熱くなるので触ればわかります。

特に異常がなければ、おもむろに回路動作の確認に進みます。

■回路の動作チェック

アドバイス

精度が要求されるものは、オシロスコープを利用してチェックするようにします。

精度は要求されないので、とにかく動かしたいという方は、このチェックは省略してもかまいません。

回路の動作チェックは回路図の左側に描いた部分から順に確認していきます。これは回路図の信号の流れが左から右になっているからです。このような動作チェックのときには、**オシロスコープ**が万能とも言える力を発揮します。特に目に見えない信号がはっきりと目で確認できるわけですから、鬼に金棒とはこういうことでしょう。

特にデジタル回路では、タイミングの確認が必要ですので、オシロスコープが役に立ちます。こういう目的のためにもオシロスコープは2現象のものを用意したいものです。

まず最初に動作確認することは、デジタル回路なら、クロックの発振状態です。正常に設計値どおりの周波数で発振しているか、正常な出力電圧が出ているかなど、オシロスコープで観測して確認します。

動作確認が終了し、期待通りの機能が確認できたあとは、何をするのでしょうか。これで終わりではありません。回路動作のチェックという意味では終わりましたが、あと残るのは調整です。

4-6-3 調整

回路動作の機能的な確認ができたあとは、期待通りの性能を出すための調整作業があります。デジタル回路は比較的機能が動作すればそれで完了ということが多く、調整個所というのはあまりありませんが、アナログ回路では必ず調整が残ります。調整で必要となる作業は下記のような内容です。

■電源関連の確認

電源電圧の確認は普通実行しますが、もうひとつ、消費電流を確認しておきます。これは自分が設計したものが、どういう性能を持ったものかを確認しておく意味でも大切なことです。消費電流の確認のときには次のようなことに注意します。

・消費電流には最大と最小がある

動作している内容により消費電流が大きく変化するICなどがあるので、どのような状態での消費電流かを注意しておき、規格表などと比較しながら最大消費電流の確認と通常時の消費電流をチェックしておきます。

特に電池動作のものを製作したような場合には、消費電流によって電池の消耗時間が大きく変わるので大切なことです。そして期待値と大きく異なるときには、やはり不具合なので、原因を調べることが必要です。

アドバイス

消費電流によって電池の消耗時間が大きく変わるので、消費電流のチェックは大切です。

・電源電圧によって消費電流は変わる

通常ですと、電源電圧が高いほど消費電流は増える傾向にあります。

■アナログ回路の調整

アナログ回路というのは、組み上げたままでは、設計どおりには動いてくれないのが一般的です。必ず調整が必要です。アナログ回路の調整は多くの場合、電圧を調べることが大部分ですのでDMMを使った調整となります。ここで行う調整には下記のようなものがあります。

・オペアンプアンプなどのゲインの調整

期待する最大入力のときに、何ボルトの出力にするかという設計をしたはずなので、それに合わせるように可変抵抗を回してゲインを調整します。調整は写真4.6.3のように半固定の可変抵抗を小型ドライバで回して行います。

◆写真4.6.3　ゲインの調整

用語解説

・ゲイン
オペアンプなどの増幅回路の増幅率のこと。出力電圧／入力電圧で表される。

・オフセットの調整

最近のオペアンプなどは、高精度になってオフセットの調整はほとんど不要になっていますが、それでも特に高精度な直流計測アンプなどのときには、入力がゼロのとき（つまり入力をショートしたとき）に、出力がゼロになるようにオフセット調整をします。

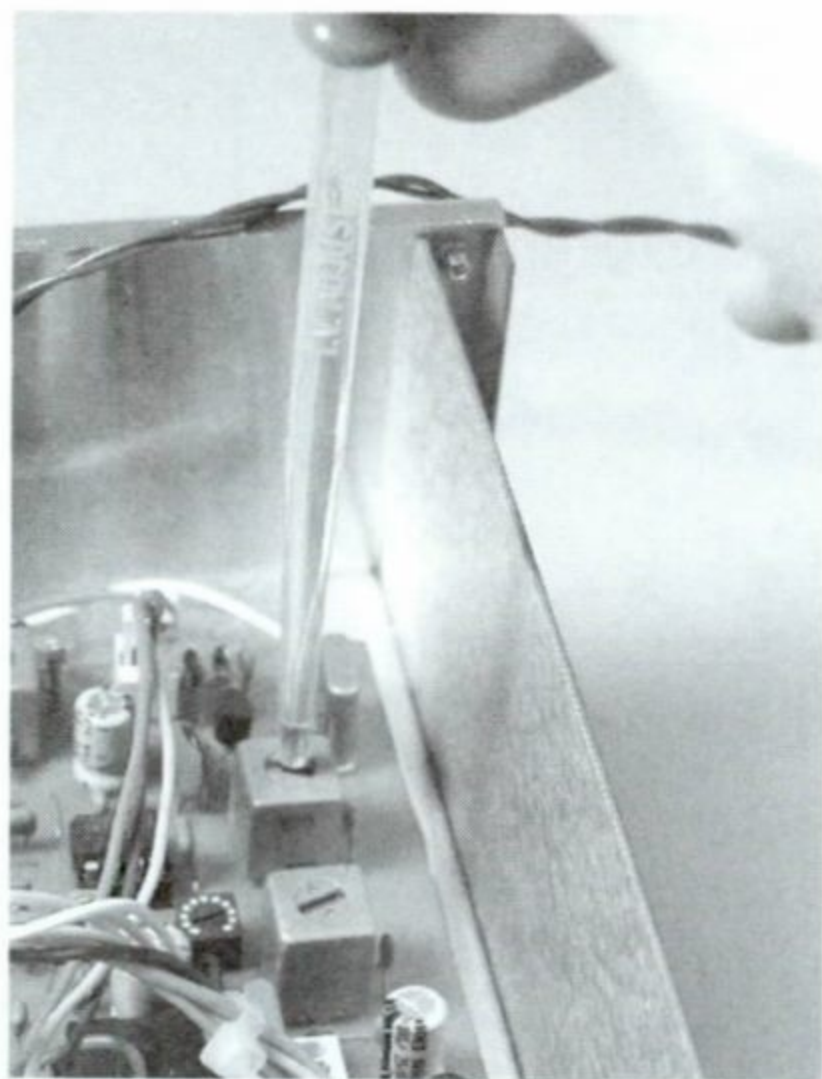
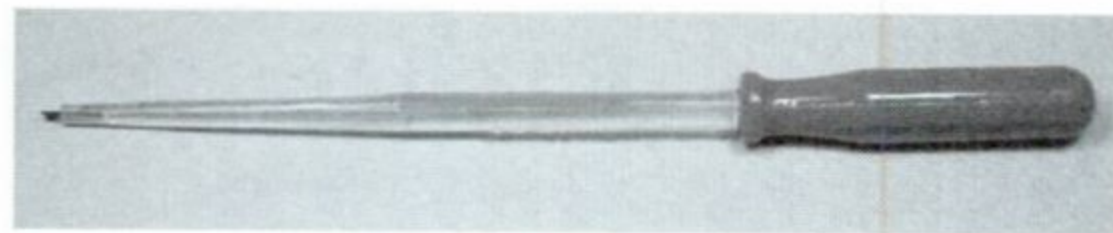
・異常発振の有無の確認

オペアンプでときどきありますが、単純な直流アンプのつもりが、じつは自己発振してしまっていて、出力に異常な高周波の出力が出ていることがあります。これはオシロスコープで確認すればすぐわかるのですが、オシロスコープがないと悩まされることになります。

出力電圧が入力電圧に比例しないときには疑ってみる必要があります。これには発振対策が必要です。オペアンプのマニュアルに対策方法が記述されているのでそれに従いますが、通常はフィードバック回路の抵抗に並列に小さなコンデンサを挿入すれば発振は止まります。これで止まらないときは、使い方が間違っていることになりますから、回路を再検討する必要があります。

■高周波回路の調整

高周波回路では必ず**同調**という作業が付きまとっています。つまりコイルを使うためで、高周波増幅のゲインを最大にするためには、この同調を取る作業が必ず必要です。

これにもオシロスコープが道具として有用で、信号の振幅を見ながら振幅を最大にすることで同調作業ができます。実際の調整作業は写真4.6.4のように、コイルのコアを調整棒で回して行います。このような高周波の調整の場合には、金属ドライバを近づけるだけで特性が変わってしまいますので、写真4.6.5のような調整専用のドライバを使います。

◆写真4.6.4　コイルの調整

◆写真4.6.5　調整用ドライバ

第5章

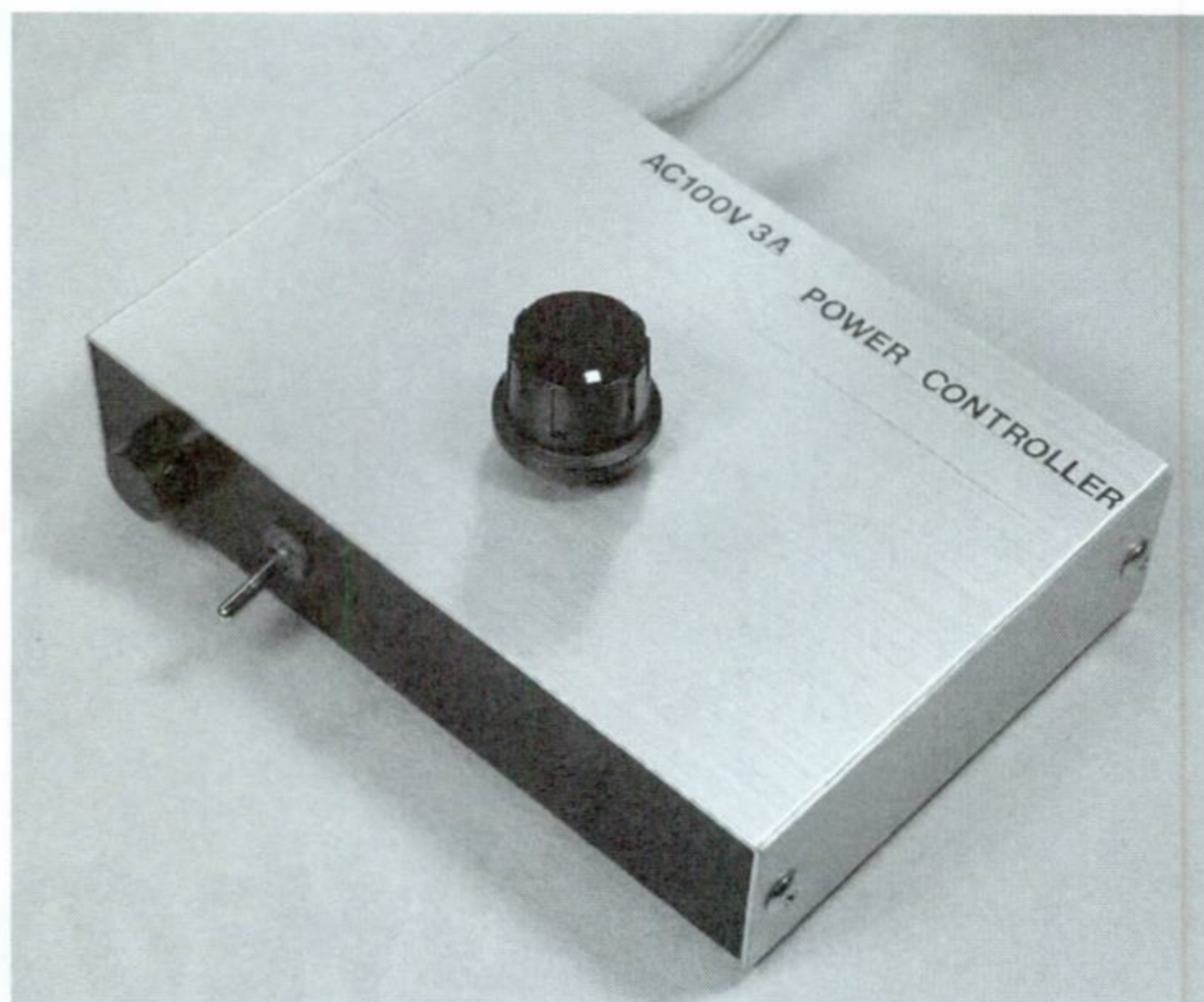
製作の実際

これまでに電子工作の基本的な電子部品に関する知識と使い方、さらに実際の設計方法から製作ノウハウまでを説明してきました。ここで、これらのノウハウを実際に試す意味で何か作ってみましょう。ただし、いきなり複雑なものを作るのも失敗するだけですから、まずは簡単なものから始めていきましょう。

本書での製作例は、できるだけ基本的なものにしましたが、それでもただそのまま真似て作るというだけでなく、自ら考えて設計するというステップが理解できるようにしたつもりです。設計するためには何を考えなければならないか、どんな知識が必要かなどポイントだけを説明しました。

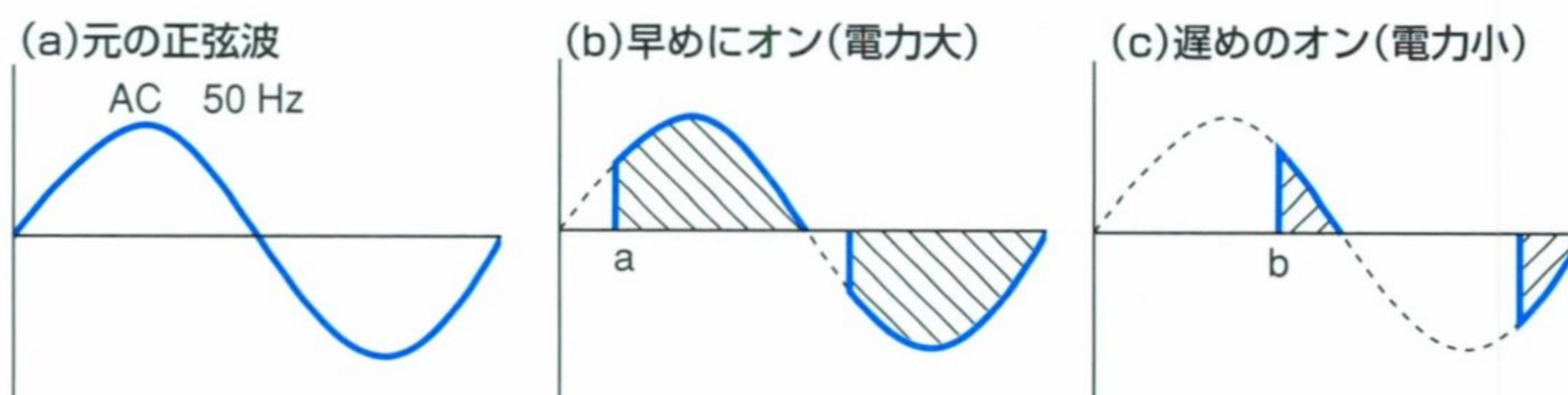
簡単な工作にするようにはしましたが、それでもワンチップコンピュータなどプログラムの知識を必要とするものもあるので、難しいと感じる方々も多いとは思いますが、あえて高度な工作へのチャレンジという意味をこめて解説していきます。

5-1 AC電力コントローラ

簡単に製作できて便利な道具ということで、筆者が使っていて便利だなと思う「AC電力コントローラ」を製作しましょう。用途としては、はんだこての温度制御、電気ドリルやジグソーの回転数調整、写真撮影時の照明調整などです。簡単にできますが結構役に立ちます。写真5.1.1が完成写真です。

◆写真5.1.1 AC電力コントローラ

5-1-1 基本検討

このコントローラは商用電源のAC100Vの正弦波をサイクルごとに途中でオンにして、正弦波の一部だけを使うようにし、しかもオンにする位置を可変にすることで、平均電力を連続的に可変できるようにするものです。

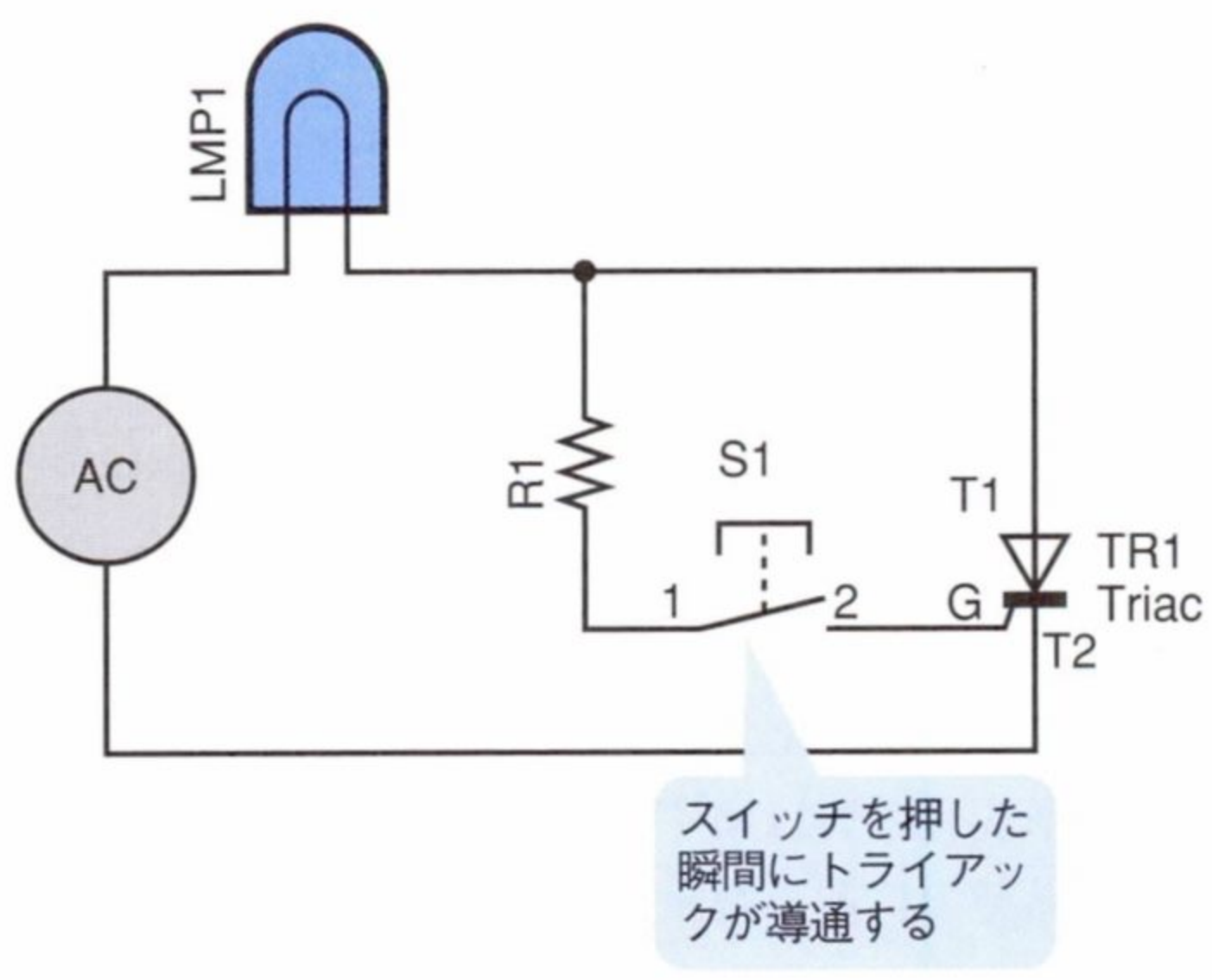
AC電力コントローラの原理は、図5.1.1(a)のような正弦波を、図(b)や図(c)のような波形にして使います。つまり正弦波の一部を切り取った形にしています。こうすると、残った波形の斜線部の面積が有効電力になりますから、図(b)の方が図(c)より面積が多いので有効電力が多いことになります。この切り取りの位置を連続的に変えることができれば、有効電力を連続的に可変にすることが可能になるわけです。

◆図5.1.1 AC電力の制御

■トライアックの基本動作

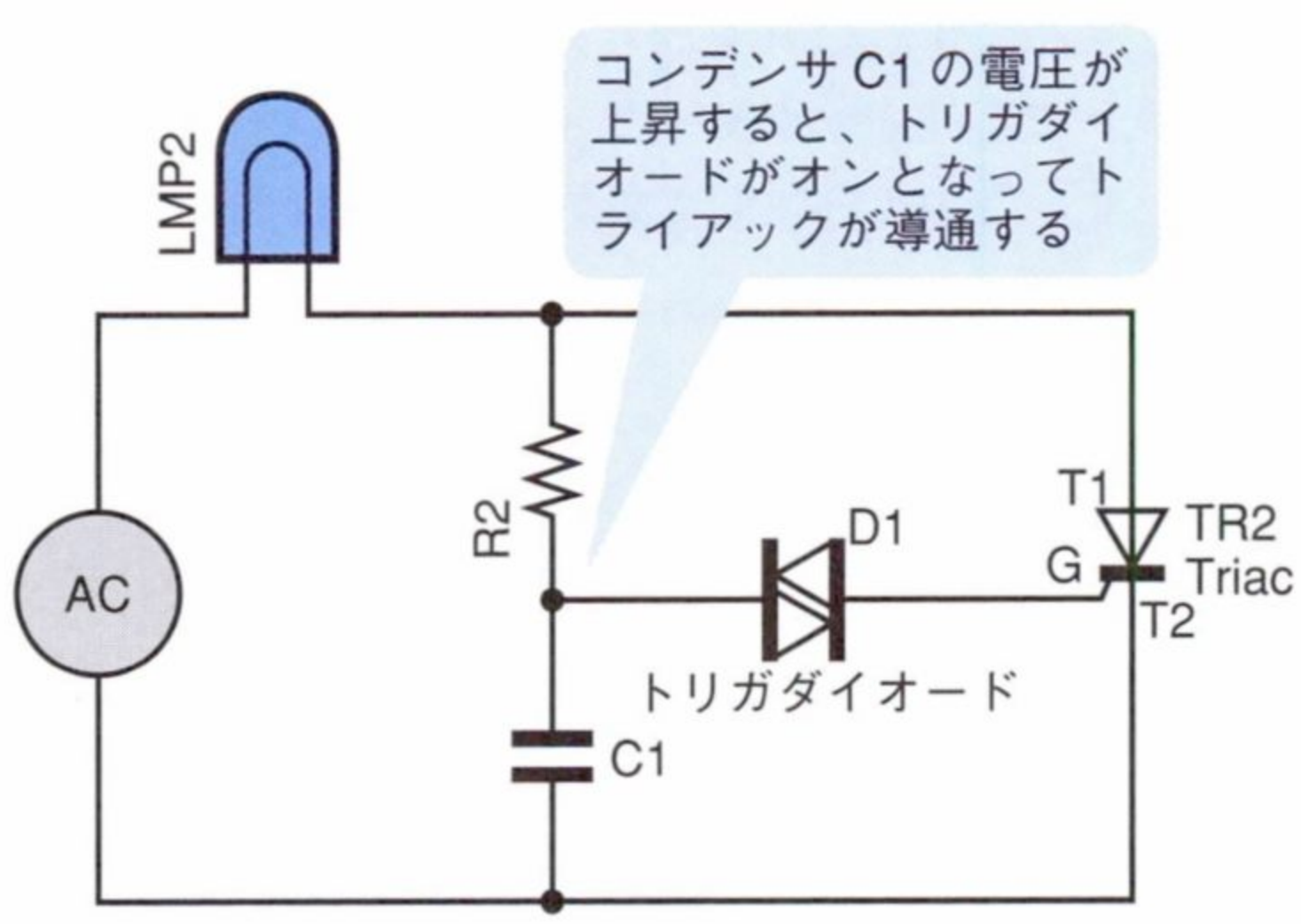
ではどうやってこれを実現するのでしょうか。これには**双方向サイリスタ**（別名**トライアック**）を使います。トライアックの動作を図5.1.2で説明します。

トライアックの端子T1とT2間はどちらの方向にでも電流を流せます。しかもその電流をサイリスタと同じようにゲート電圧で制御できます。つまり、いったんゲートに数V以上の電圧が瞬時でも加わると、端子T1、T2間がどちらの方向でもオンとなり導通します。その後ゲート電圧が0Vになっても導通状態を継続します。そしてT1、T2端子間電圧が0Vになりゲート電圧も0Vになるとやっとオフになります。

用語解説

・トライアック
双方向サイリスタ。ゲートとカソード間にいったん電流を流すと、アノードとカソード間が導通し、導通はアノードとカソード間の電位差が一定値以下にならないとオフにならない。この特性を利用して交流信号のオン／オフ制御に使われる。

◆図5.1.2　AC電力の制御

■回路の検討、工夫

このままの回路ではゲート電圧が正となる半サイクルだけしか制御できないことになりますが、回路に工夫を加え、もともとの正弦波の電圧を活用します。つまり、図5.1.3のような回路とします。

◆図5.1.3　AC電力の制御

ここでは**トリガダイオード**と呼ばれる素子を利用しています。トリガダイオー

ドは、端子間の電圧がある一定値（大体24V程度）を超えると導通状態となりパルス電流が流れます。しかも電流の向きに関わらず、どちら方向でも同じように動作します。

コンデンサC1に交流電圧が加わり充電されていきT1（またはT2）に対して一定電圧以上高い電圧になると、トリガダイオードを経由してトライアックのゲートにパルス電流が流れ、トライアックのT1、T2間がオンとなります。トライアックもトリガダイオードも電圧の向きに関わらずどちら側にも電流を流しますので、この動作は交流の正負で同じように動作します。そして正弦波が0Vをクロスするとき、いったんトライアックがオフとなります。そして再びコンデンサの充電が開始されることで同じ動作が半サイクルごとに繰り返されます。

ここでトリガダイオードがパルスを出すタイミングはコンデンサへの充電の早さ、つまり抵抗R1とコンデンサC1の時定数で決まります。したがって、このとき定数を可変にすればオンにするタイミングが制御できることになります。時定数を可変にするには、抵抗を可変抵抗にすることで実現できます。

アドバイス
・トライアック

アノード
ゲート
カソード

用語解説
・時定数
抵抗とコンデンサを組合わせると一定の時間遅れの要素を持たせることができ、これを字定数と呼ぶ。
時定数＝2πRC

■ヒステリシスと対策

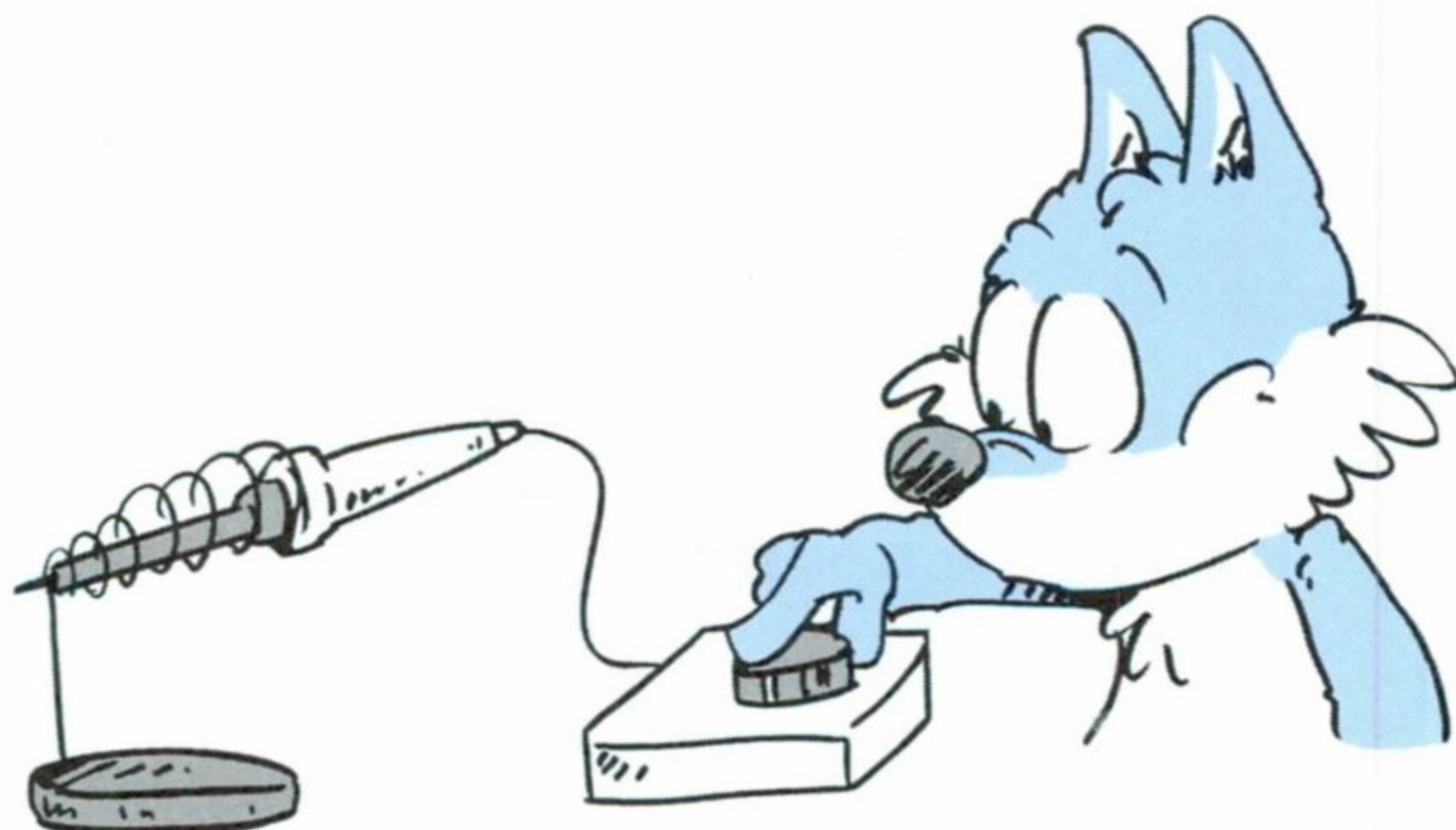
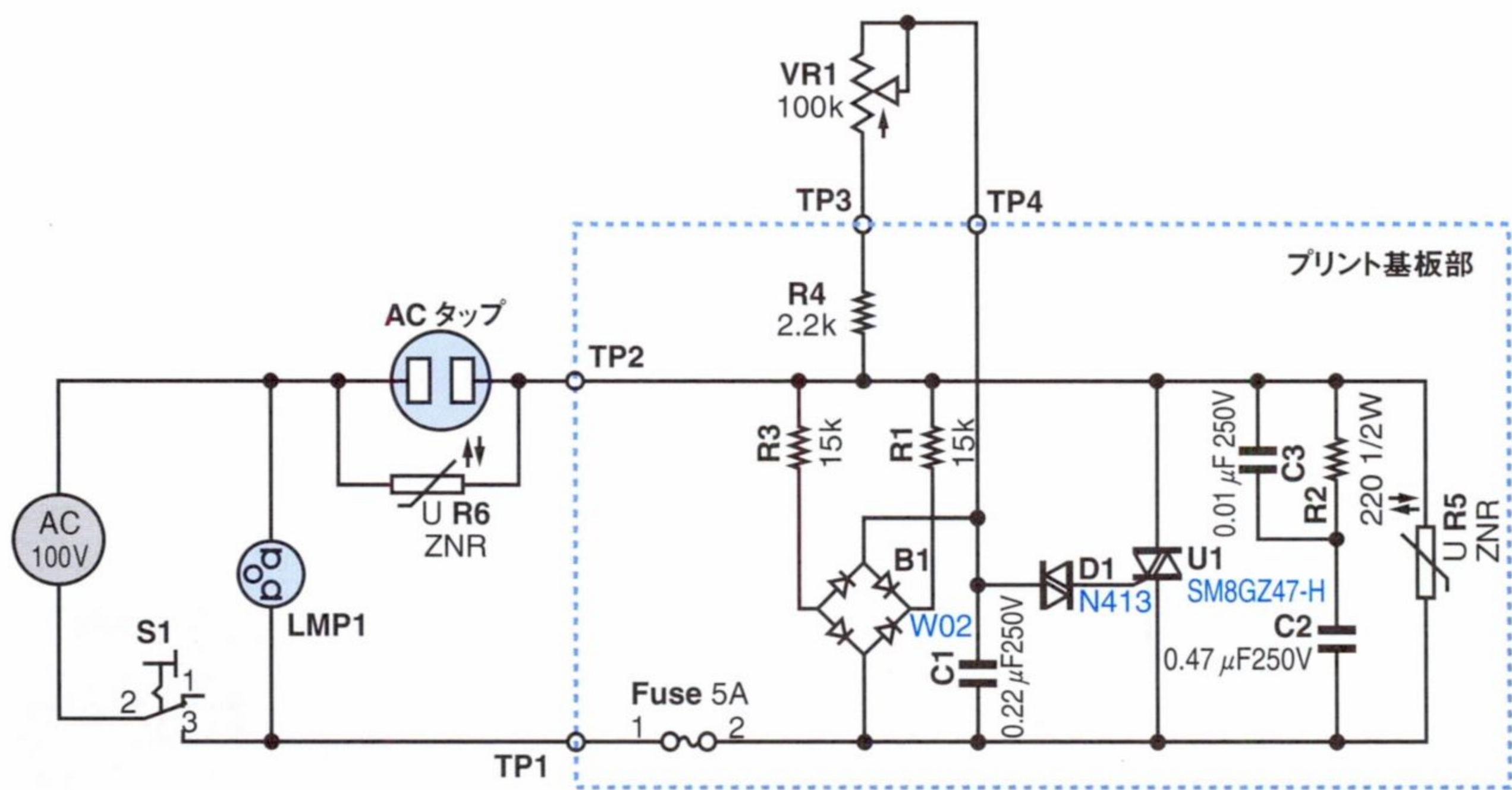
さて図5.1.3の回路で原理的な動作は可能ですが、実用的には困ることがあります。それは、コンデンサの充放電の**ヒステリシス**による影響です。つまり可変抵抗を手で変化させると、抵抗を変化させていってすぐ反対方向に変化させると、波形変化の方はすぐには応答できず、抵抗変化よりも遅れて追従します。これだと希望の位置に静止させることが難しくなってしまいます。これを避けるため、ダイオードのブリッジ回路を使ってコンデンサへの電圧が逆電圧になったときには、ダイオード経由で素早く放電するようにします。これで追従がすぐできるようになります。

用語解説
・ヒステリシス
状態が外部変化に対して遅れること。

■ノイズ対策

もう一つ困ることがあります。それはトライアックがオンするときのパルス性ノイズの影響です。大電力を瞬時にオンするので、高電圧のパルス性ノイズを発生します。これが周りのラジオなどに悪影響を与えます。そこでこのノイズを少しでも減らすためトライアックに**スパークキラー**を追加してノイズ対策を行います。このようにして最終的な回路は図5.1.4のようになります。

アドバイス
スパークキラーにバリスタを利用します。

用語解説
・バリスタ
高電圧から電子部品を保護するため、またノイズ対策に用いられる。

◆図5.1.4　全体回路図

5-1-2　組み立てに必要な部品

アドバイス

トライアックに取り付ける放熱器も用意してください。
また、ヒューズホルダも必要です。

AC電力コントローラの組み立てに必要なパーツは、表5.1.1のようになります。特別な部品はないので問題なく集められると思います。ケースは好みで適当なものにしてかまいません。

◆表5.1.1　部品一覧

部品番号	品名	型番・仕様	数量
U1	トライアック	SM8GZ47	1
B1	ダイオードブリッジ	W02	1
D1	トリガダイオード	N413	1
C1	フィルムコンデンサ	0.22 μF 250V	1
C2	フィルムコンデンサ	0.47 μF 250V	1
C3	フィルムコンデンサ	0.01 μF 250V	1
R1,R3	抵抗	15 kΩ 1/4W	2
R2	抵抗	220 Ω 1/2W	1
R4	抵抗	2.2 kΩ 1/4W	1
R5,R6	バリスタ	ZNR 220V	2
Fuse	フューズ	基板用小型　5A	1
VR1	可変抵抗	100kΩ	1
AC タップ	AC コンセント	パネル取り付け形	1
LMP1	ネオンランプ	AC100 V 用ブラケット付き	1
S1	電源スイッチ	小型トグルスイッチ AC250V　6A	1
	AC コード		1
	感光基板	サンハヤト 10K	1
	アルミケース	タカチ YM130	1
	AC ブラケット、カラースペーサ、ねじ、つまみ、線材		少々

アドバイス

図5.1.4の点線の部分がプリント基板で製作する箇所です。

まず、図5.1.4の点線の枠内の部分をプリント基板として作成し、これに必要な部品を実装します。プリント基板のパターン図は図5.1.5となります。AC100Vという高電圧が通りますから、パターンは幅広で隣接パターンの間隔も広くしておきます。トライアックの固定用の穴はあとからあけます。

基板の組み立てが完了した状態が写真5.1.2となります。トライアックには小さな放熱器を**熱伝導シート**を挟んで取り付けます、ねじで熱が伝わる基板のパターンとこの放熱器で十分放熱できます。

5-1-3 組み立て

教えて

どうしてトライアックの下のパターンを大きくしているのですか？
〔回答〕
放熱の役割りをします。トライアックを基板にねじで固定します。そのねじから熱がこのパターンに伝わり、放熱するわけです。

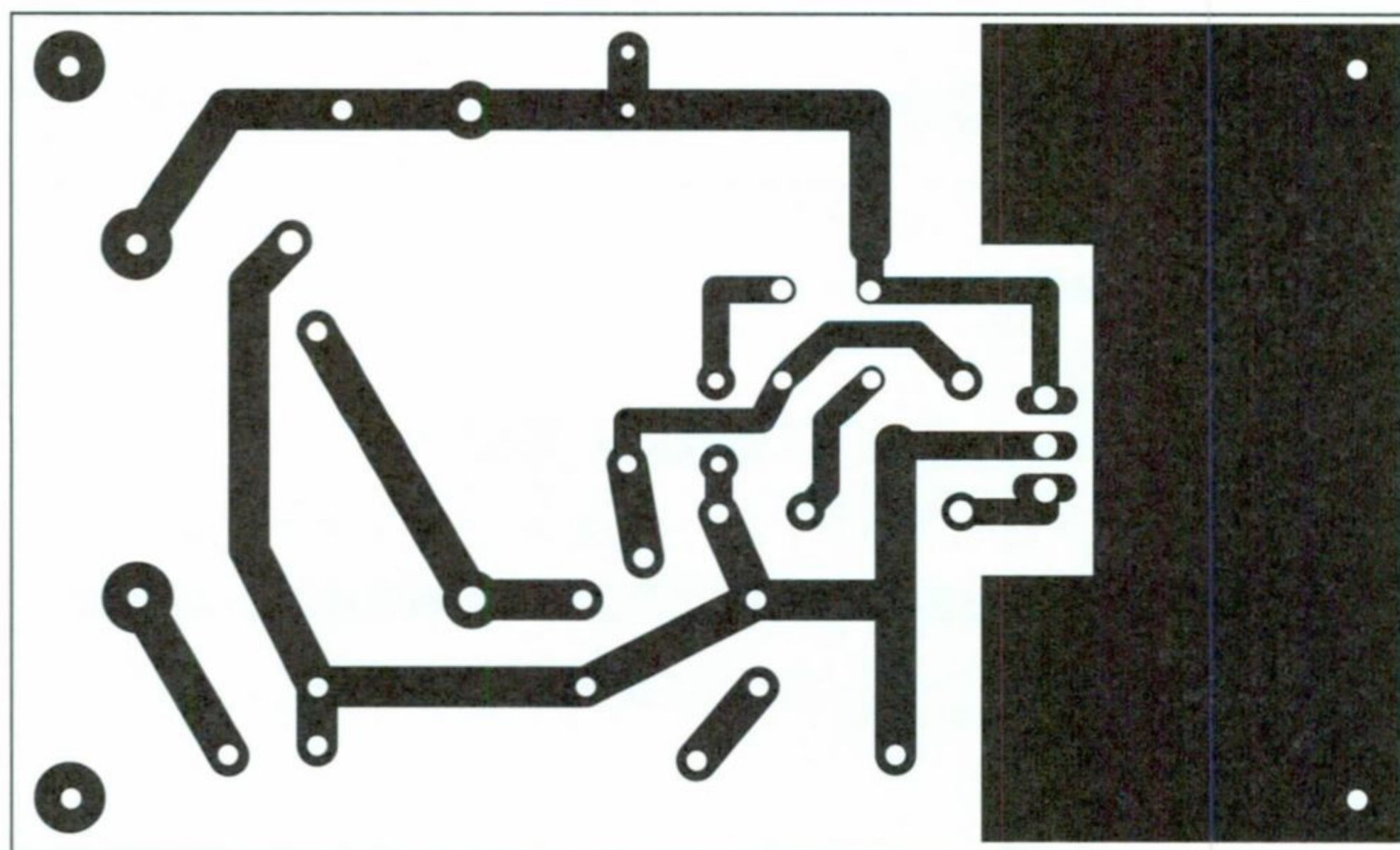
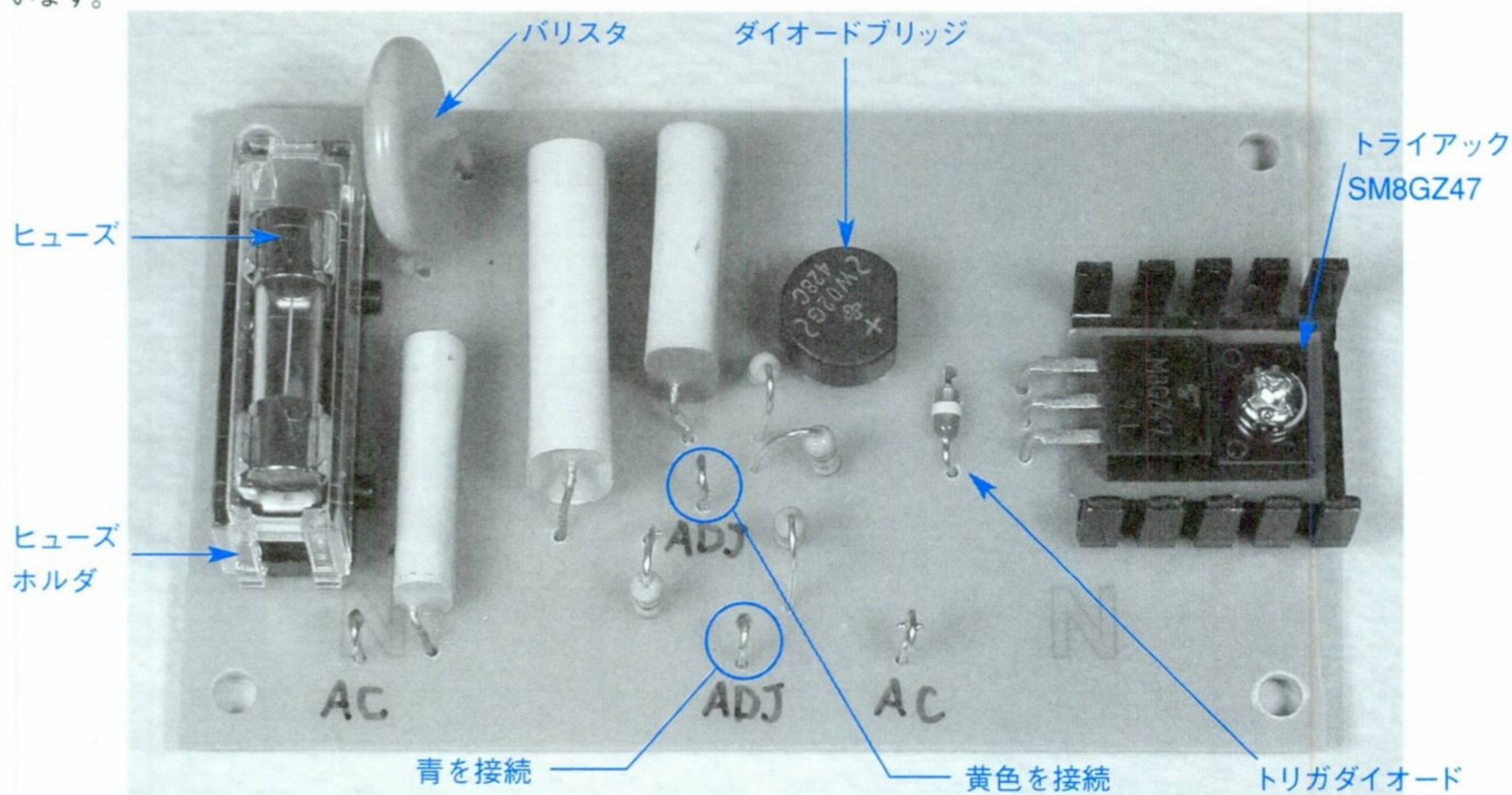
参考

トリガダイオード（N413）には極性はありません。

アドバイス

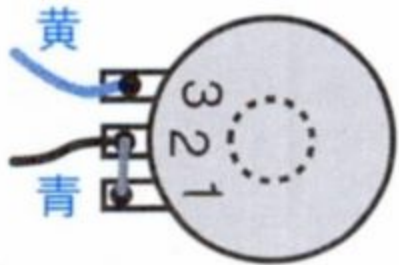
ADJとはAdjust（調整）のことで、ここでは可変抵抗器に接続することを意味しています。

◆図5.1.5　基板パターン図

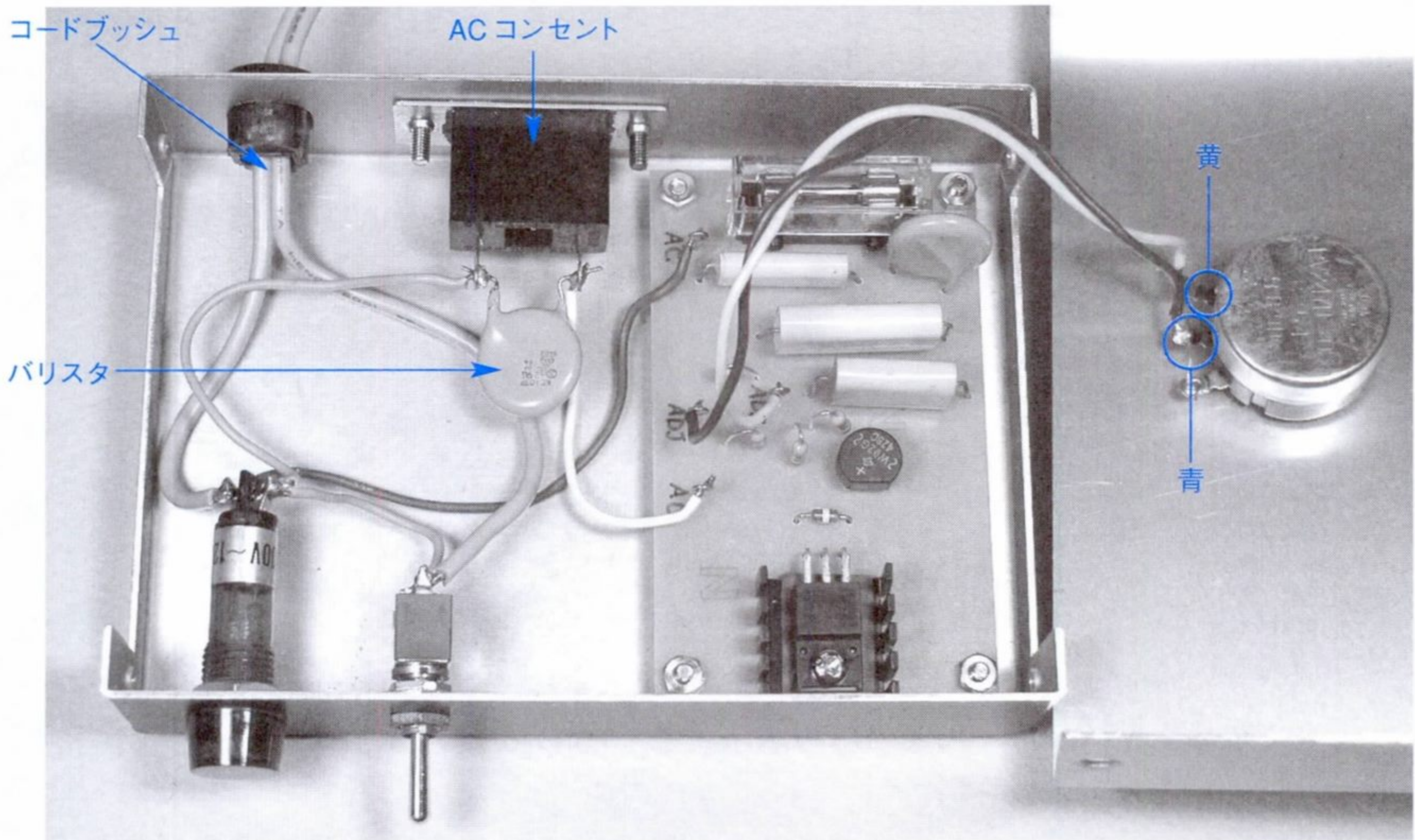
バリスタ
ダイオードブリッジ
トライアック
SM8GZ47
ヒューズ
ヒューズ
ホルダ
ADJ
ADJ
AC
AC
青を接続
黄色を接続
トリガダイオード

◆写真5.1.2　基板組み立て完了

アドバイス

可変抵抗器の3番ピン、2番ピンを基板のADJ端子に接続し、部品のリード線の切れ端を利用して（またはすずメッキ線）2番ピンと1番ピンを接続します。

黄
3 2 1
青

■ケースに実装

基板をアルミケースに実装します。可変抵抗やACコンセントも一緒にケース内部に固定します。内部の実装状態が写真5.1.3となります。ACソケットは四角の穴をケース側面にあけ、コンセントの前面部がぴったり納まるようにします。さらにコンセントにはバリスタを端子間にはんだづけします。ネオンランプはAC100Vを直接接続できますので、スイッチオンで点灯するように接続します。ケース内のスペースは十分ありますので、ゆったり実装できると思います。

AC100Vという高電圧ですから、配線には十分注意して間違えないようにしてください。

◆写真5.1.3　ケース実装状態

アドバイス

ネオンランプには極性はありません。

5-1-4　動作確認と調整

配線に間違いがなければ特に調整する部分もないので、問題なく動作するはずです。

テストは、まず、ACコードを商用電源のコンセントに接続してからスイッチをオンにすればネオンランプが点灯します。本体のACコンセントに電動ドリルなどを接続して、可変抵抗をまわせば回転速度が変わるはずです。これで回転速度が変化しなければ、配線が間違っていますので、再度チェックします。

もし可変抵抗の回転方向と速度の変化が反対方向のときは、可変抵抗と基板の2本の配線を逆にすれば正常になります。

5-2 太陽電池を使ったニッカドバッテリ充電器

電子工作でバッテリを使う機会は多く、充電バッテリをよく使います。このバッテリの充電器を製作してみましょう。太陽電池を使ったニッカドバッテリ用（5-2）と、専用ICを使ったリチウムイオンバッテリ用（5-3）を作ります。

5-2-1 ニッカドバッテリ充電器の回路構成

簡単な工作でできる**ニッカドバッテリ**の充電器を作ってみましょう。太陽電池を使って自然のエネルギーを頂いて充電します。屋外で遊んでいるときバッテリ切れで悩まなくても済みます。

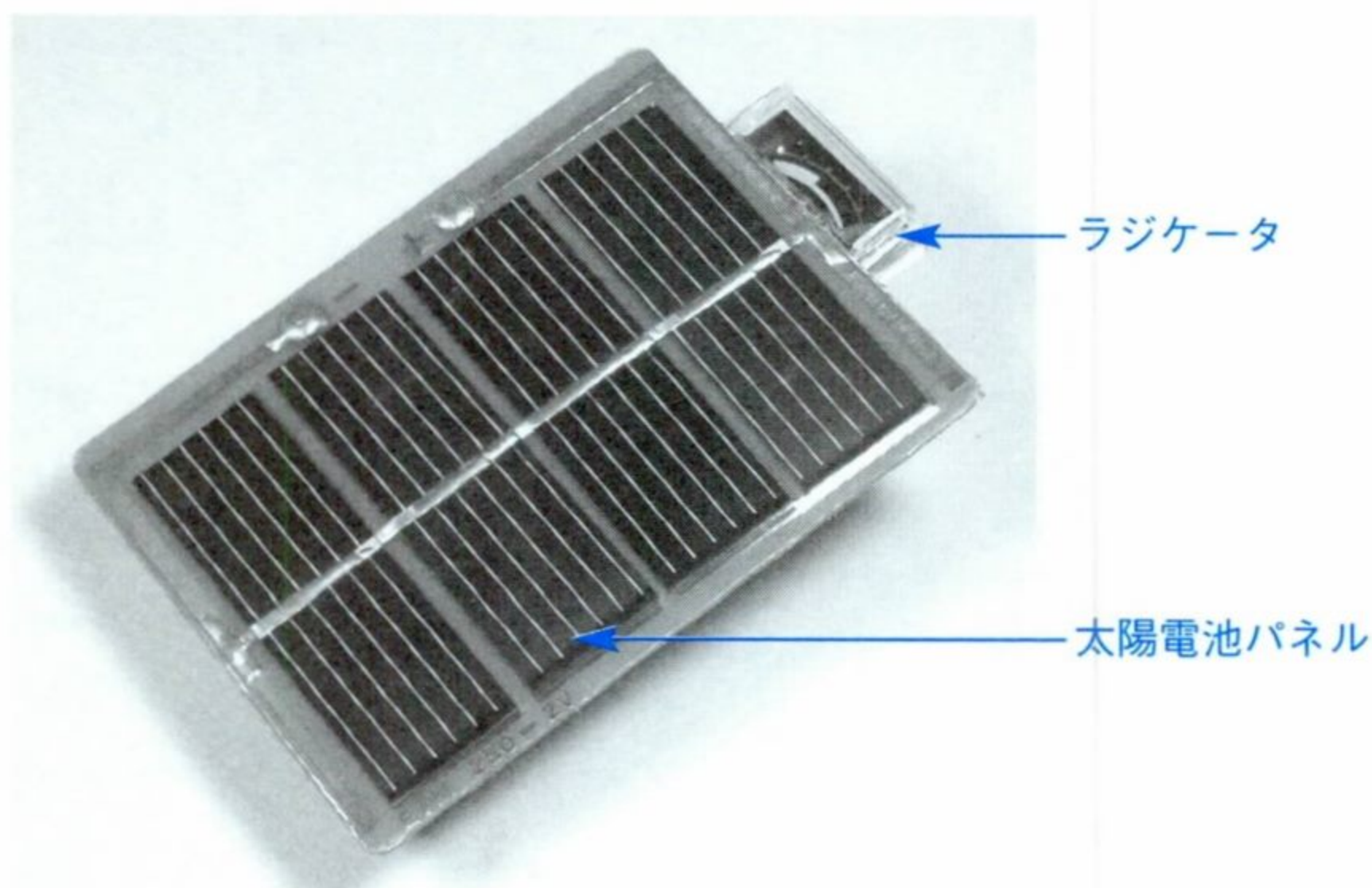
外観は写真5.2.1のように、**太陽電池パネル**本体に全て固定して取り付けます。充電しているかどうかわかるように、簡単な電流メータで充電電流が見えるようにします。小さな太陽電池パネルですが、これで150mA以上の電流でバッテリを充電できます。

用語解説

・ニッカドバッテリ
ニッケルカドミウム電池。充電、放電の繰り返しが可能な二次電池。

教えて

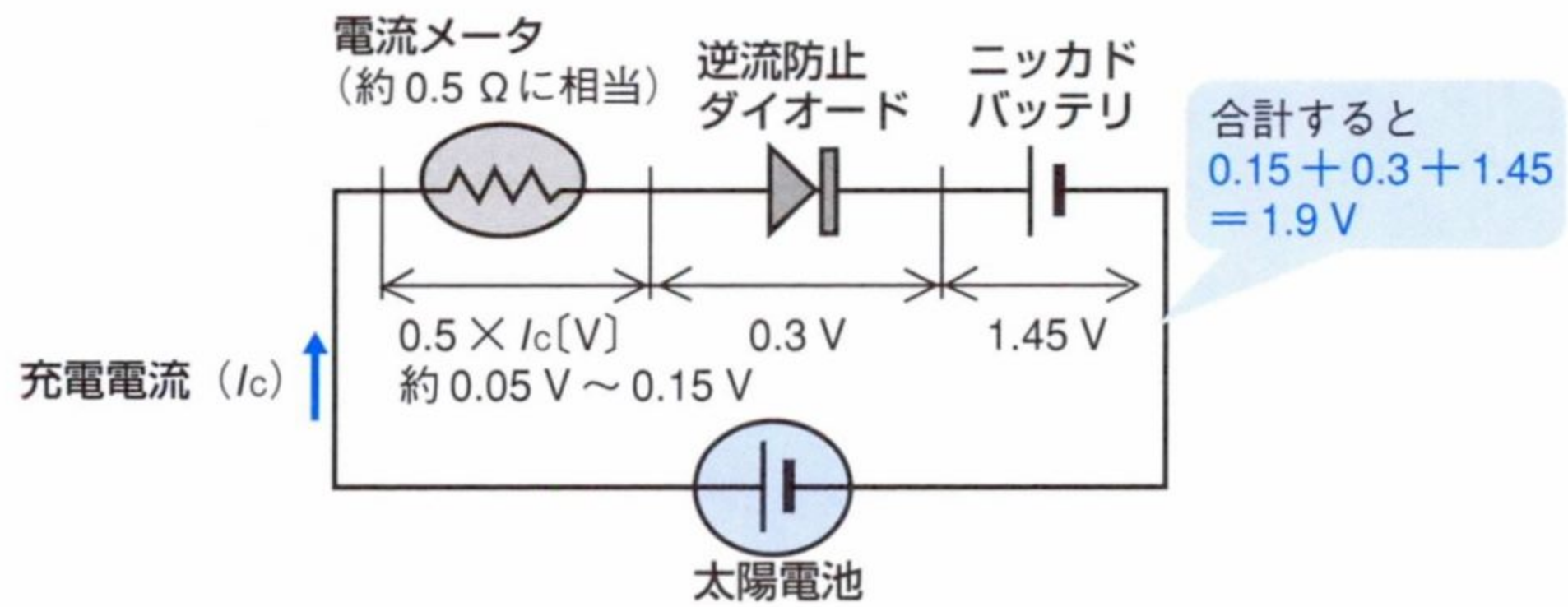
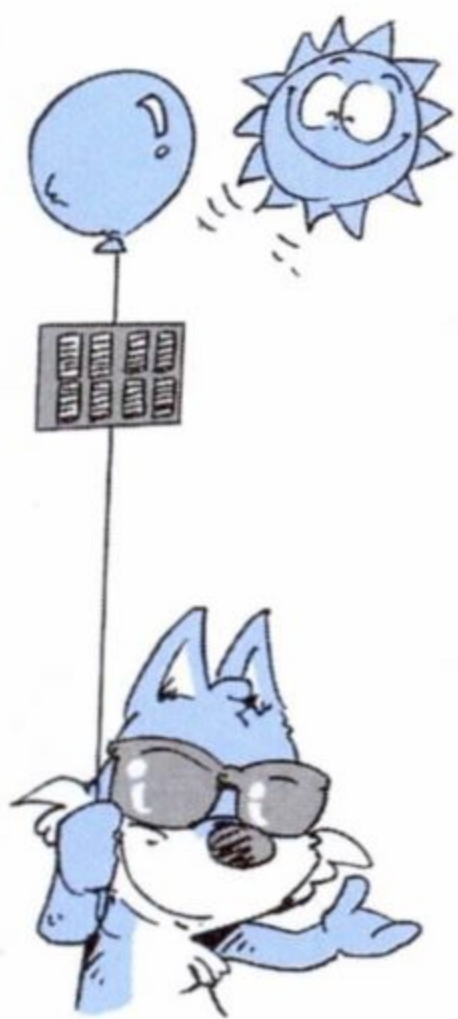
ニッケル水素電池、リチウムイオン電池では使用できないの？
〔回答〕
ニッケル水素電池は、少ない電流でゆっくり充電する場合はニッカドバッテリと同じように充電できますので、この製作例の充電器で問題なく充電できます。
リチウムイオン電池は充電圧が高いので、この充電器では充電できません。

ラジケータ
太陽電池パネル

◆写真5.2.1　太陽電池を使ったニッカドバッテリ充電器

■基本検討

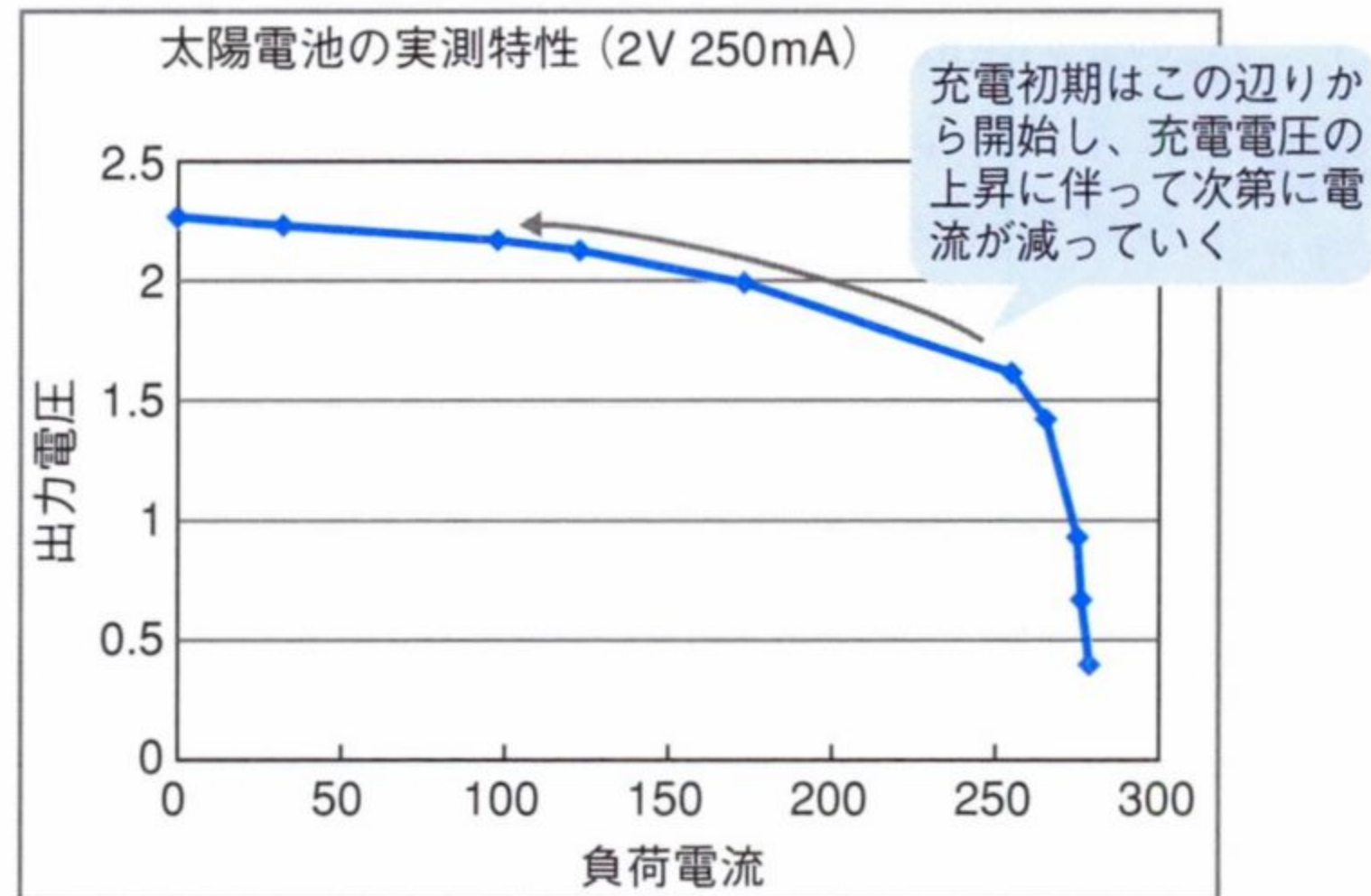
まず太陽電池の選択です。今回の構成で太陽電池によるバッテリ充電回路を作成する場合、図5.2.1のように逆流防止用ダイオードと電流メータが直列回路を構成しますので、それぞれで図中に示したような電圧降下が発生します。さらに単3または単4のニッカドバッテリを充電するために必要な電圧は、図5.2.3の充電特性に示されたように約1.45Vが必要となります。したがって、この電圧の合計より高い電圧出力の太陽電池を使う必要があります。合計すると約1.9Vですから、簡単に入手可能な太陽電池では2Vというものが手ごろです。

教えて

曇り空、太陽が沈んだ後に装置に電池を付けたまま放置しておくと、放電してしまわないの？
〔回答〕
そのために逆流防止用のダイオードを装着します。

◆図 5.2.1　回路構成と電圧降下

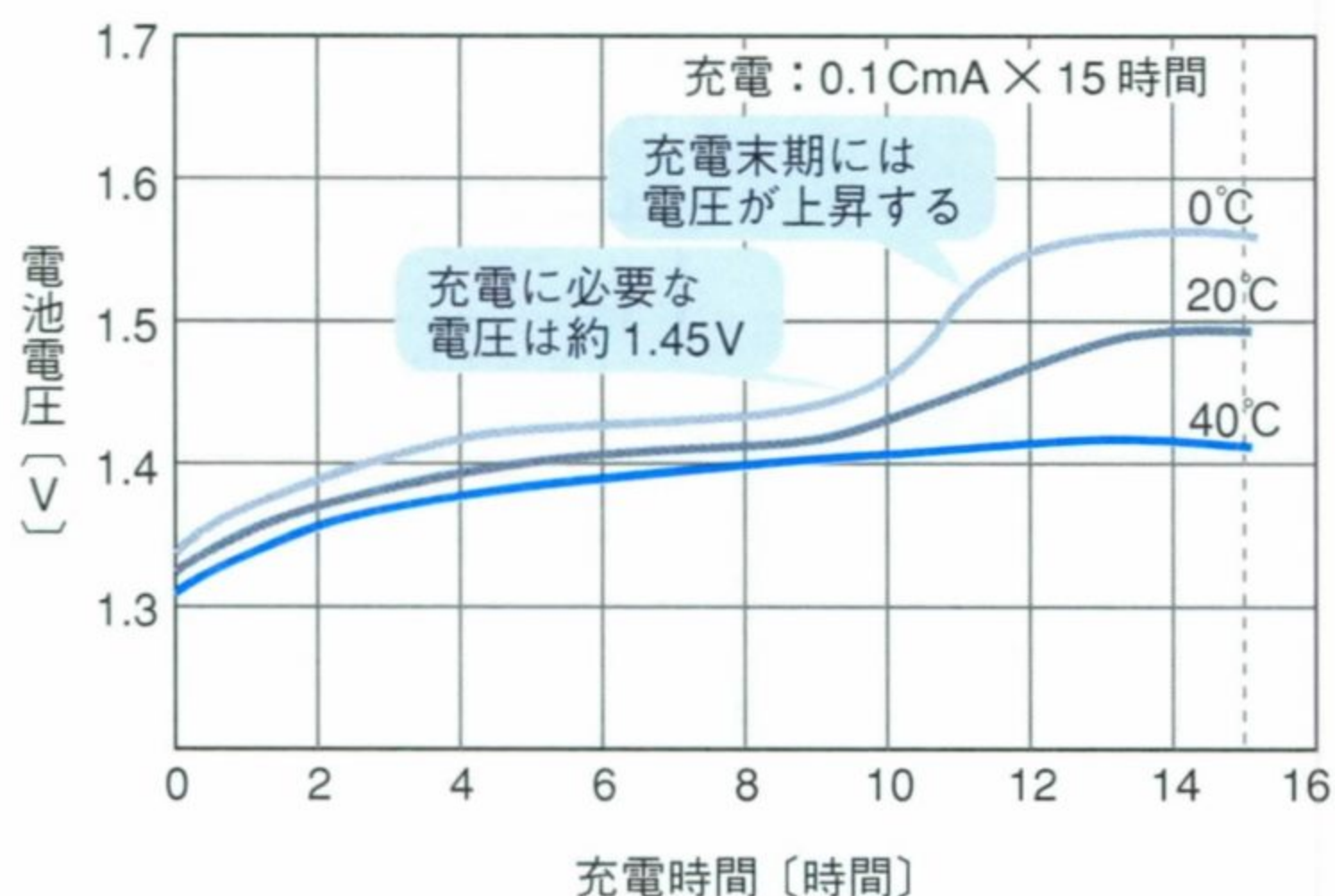
実際に市販されている太陽電池で2V出力のものには2V 250mAとか、2V 500mAとかいう種類のものがあります。今回は小さなものにしたかったので2V 250mAというものにすることとしました。定格は、無負荷のときの出力電圧が2Vで、出力を短絡したときに流れる電流が250mAということになります。

・太陽電池の特性

さて、このままでは一体どの程度の電流のとき出力電圧は何ボルトになるのかわかりません。そこで太陽電池の実際の特性を計測してみました。結果は図5.2.2のようなグラフとなりました。これで見るとわかるように、負荷電流が170mA程度までは2V以上の電圧が出ることがわかります。

◆図 5.2.2　太陽電池の実測特性

・ニッカドバッテリの充電特性

ニッカドバッテリの充電特性は図5.2.3のようになっていて、充電初期のころは充電電圧が低いことがわかります。

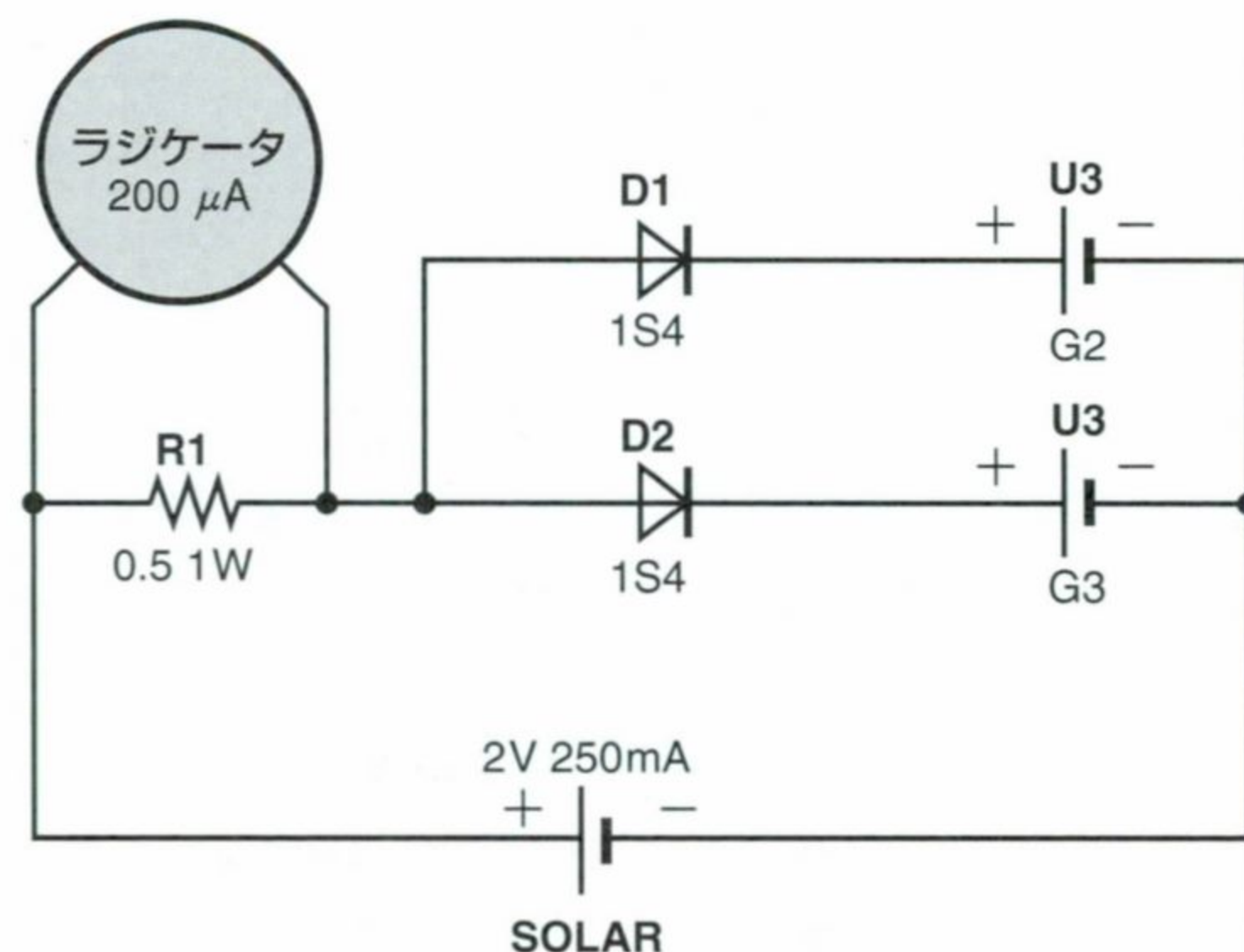
このため充電初期は、図5.2.2のように太陽電池からの充電電流が大きく太陽電池の出力電圧が下がるところで、充電に必要な電圧とバランスがとれて動作開始することになります。充電が進んで次第に充電電圧が上がるとともに充電電流が減っていきます。充電末期ではバッテリ電圧が上昇しますので、自動的に充電電流が流れなくなります。したがって特に対策を施さなくても極端に過充電になることはありませんから、電池にはやさしい充電器ということになります。

◆図5.2.3　ニッカドバッテリの充電特性

■回路設計

以上の条件で、バッテリを2本同時に充電できるようにしたときの回路は、図5.2.4となります。2本のバッテリで充電電流が異なりますが、直列ダイオードの電圧降下がわずかに変わることで自動的にバランスが取れます。

本格的な電流メータは高価なので、今回は**ラジケータ**と呼ばれる簡易のメータを使うことにしました。このメータは約200μAの電流が流れるとフルスケールとなります。これを最大300mA程度の電流計とするには、図5.2.4に示したように並列に抵抗を接続します。今回のメータでは0.5Ωの抵抗を並列に挿入するとだいたい300mAフルスケールのメータになりました。この抵抗は使うメータに合わせて決める必要がありますが、いずれにしても正確な電流値を表示できるメータではないので、精度は問わないこととします。

参照
・ラジケータ→p.144

アドバイス
メータは電流が流れているかどうかを確認するためのもので、精度は問わないことにします。

◆図5.2.4　全体回路図

5-2-2 部品と組み立て

必要なパーツは表5.2.1となります。簡単な構成ですから部品点数もわずかです。ダイオードはできるだけ電圧降下の少ないものがよいので、**ショットキーバリヤ**

教えて

整流ダイオードは使用できないの？
〔回答〕
できます。ですが、電圧降下を小さくしたいので、ショットキーバリヤダイオードを使用することにしました。

アドバイス

ニッカド電池（単3型）を2本用意します。

ダイオードを使います。通常の整流用ダイオードですと、1V近くの電圧降下がありますが、ショットキーバリヤダイオードを使うと0.3V程度と小さくできます。

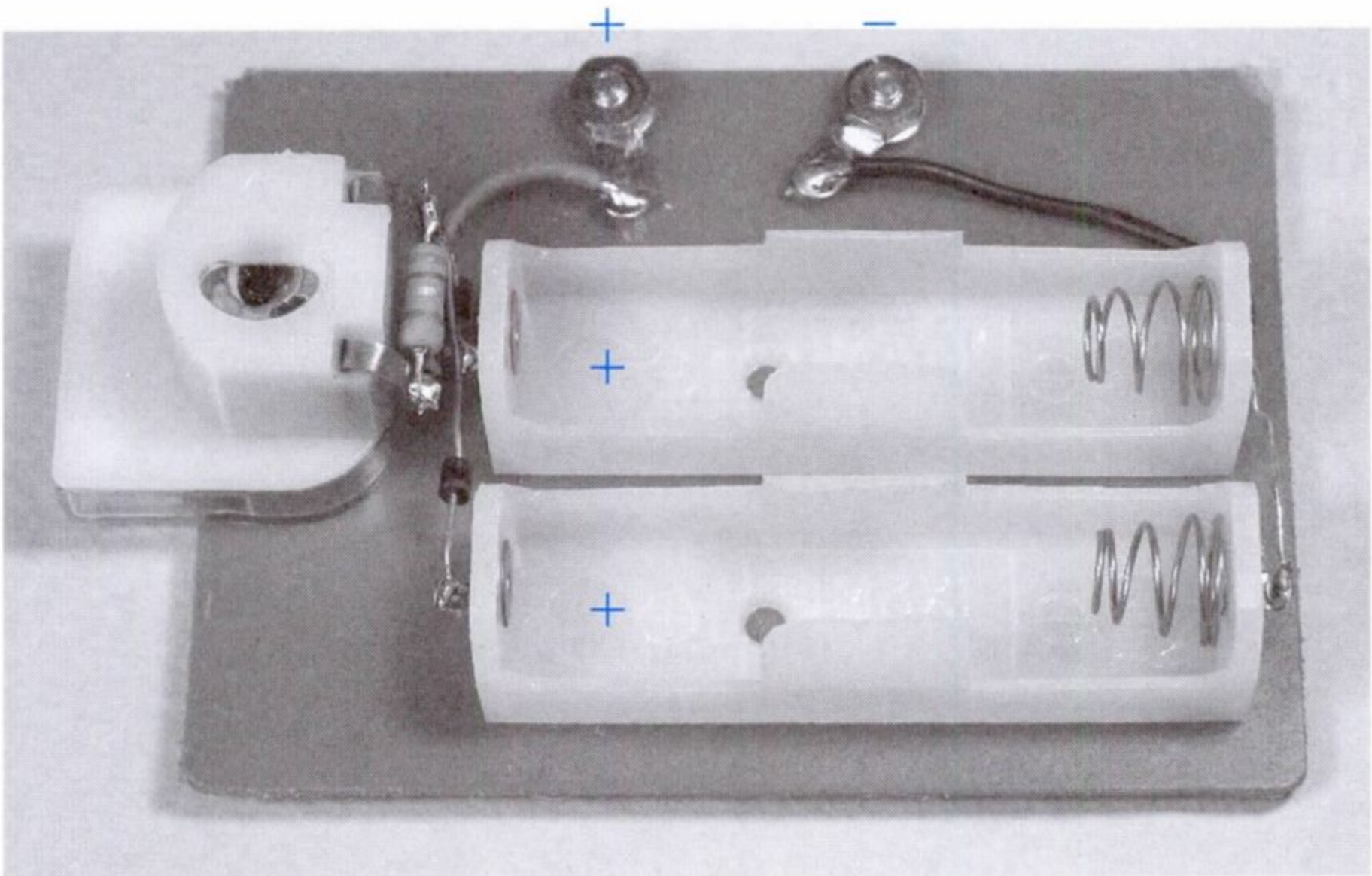
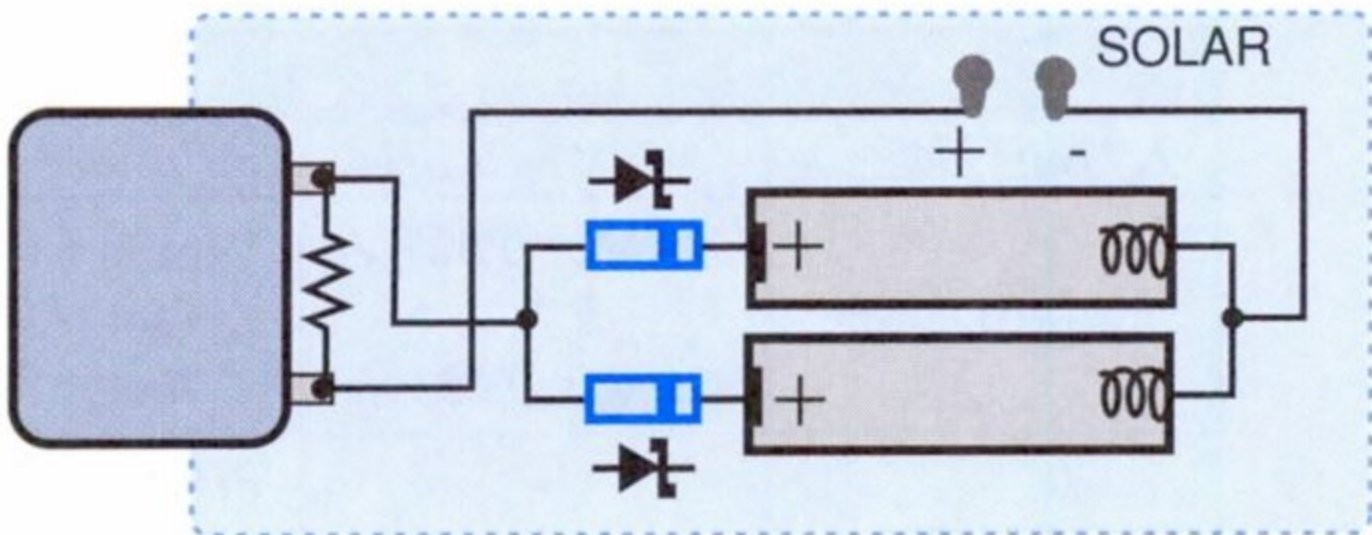
◆表5.2.1　部品一覧

部品番号	品名	型番・仕様	数量
	太陽電池	ETM250-2V	1
D1,D2	ダイオード	ショットキーバリヤダイオード	2
R1	金属皮膜抵抗	0.5Ω 2W	1
	メータ	小型ラジケータ	1
	電池ボックス	単3型2個用	1

組み立ては太陽電池パネルの裏面に固定します。電池ボックスとメータを両面接着テープを使って固定します。ダイオードと抵抗は空中配線で直接電池ボックスとメータの端子にはんだ付けします。

太陽電池裏面の組み立て状態は写真5.2.2のようになります。組み立てそのものは簡単ですが、電池ボックス、メータともプラスチック製ですから、はんだ付けの際プラスチック部が溶けてきますので手早く行うようにします。

注意

ショットキーバリヤダイオードの向きに注意（極性がある）。

◆写真5.2.2　充電器の外観

◆図5.2.5　配線と接続

使い方はとくに注意することはありません。日当たりのよいところに太陽電池を太陽に向けて置くだけです。充電時間は電池の容量や、日差しにより変わりますので一概には決まりません。充電電流がわずかになったら終了ということでよいでしょう。

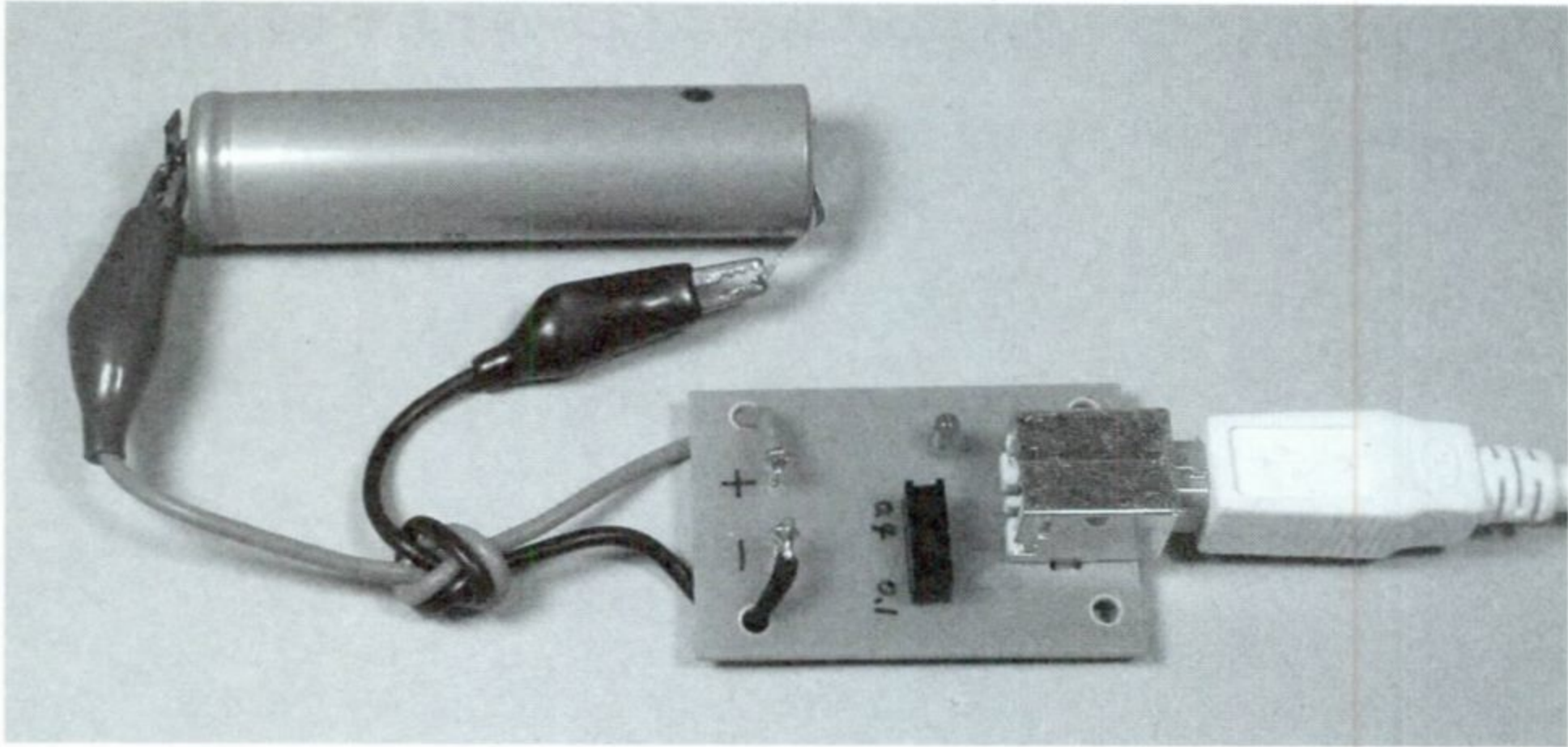
5-3 専用ICを使ったリチウムイオンバッテリ充電器

リチウムイオンバッテリは充電方式がちょっと複雑で、安全確実に充電を行うには、この方式を守る必要があります。これを全て自作するのはなかなか難しいのですが、専用のICが発売されていて、これを使えば簡単にリチウムイオンバッテリ用の充電器ができます。

5-3-1 基本回路

今回使用した**リチウムイオン充電池**用の**充電制御用**ICは、マイクロチップ社が開発販売しているもので、MCP73855というUSBのポートまたは5VのACアダプタなどから電源を供給するタイプの充電用ICです。組み立て後の使用中の外観が写真5.3.1となります。

用語解説

- **リチウムイオン充電池**
  充放電可能な二次電池。
- **MCP73855**
  充電用IC。USBのポートまたは5VのACアダプタなどから電源を供給するタイプ。
- **USB**
  ユニバーサル・シリアル・バスの略。キーボード、プリンタ、マウスなどさまざまな周辺機器を接続するために利用されている。

◆写真5.3.1　使用中のリチウムイオン充電器外観

■専用ICの概要

今回使った充電制御用IC：MCP73855の仕様は表5.3.1のようになっています。

◆表5.3.1　MCP73855の仕様一覧

項　目	仕様内容	備　考
入力電圧範囲	4.5 V～5.5 V	5Vが前提
充電用出力電圧	4.1 V±0.021 V または 4.2 V±0.021 V	*V*set端子により切り替え *V*set＝0 Vのとき4.1V *V*set＝電源のとき4.2V
最大充電電流	0.1 A～1.2 A	PROG端子により切り替え PROG＝0 Vのとき400mA±75mA PROG＝Openのとき85mA±15mA
温度制御	なし	MCP73853はあり
イネーブル機能	あり	EN端子により制御

このICの充電制御の方法は図5.3.1のようなシーケンスになっています。全体のシーケンスが3つの段階に分かれています。このシーケンスで充電を自動制御

アドバイス

シーケンスとは、「あらかじめ行わせる動作を順序正しく覚えさせておくこと」で、このICは3つの段階に分けて制御するように設定されています。

してくれますので、外部からの制御は何も必要ありません。基本動作としては電圧と電流を監視しながら制御しますが、タイマ機能も内部に持っていて、電圧や電流が期待通りにならなかった場合にはタイマの時間で制御します。

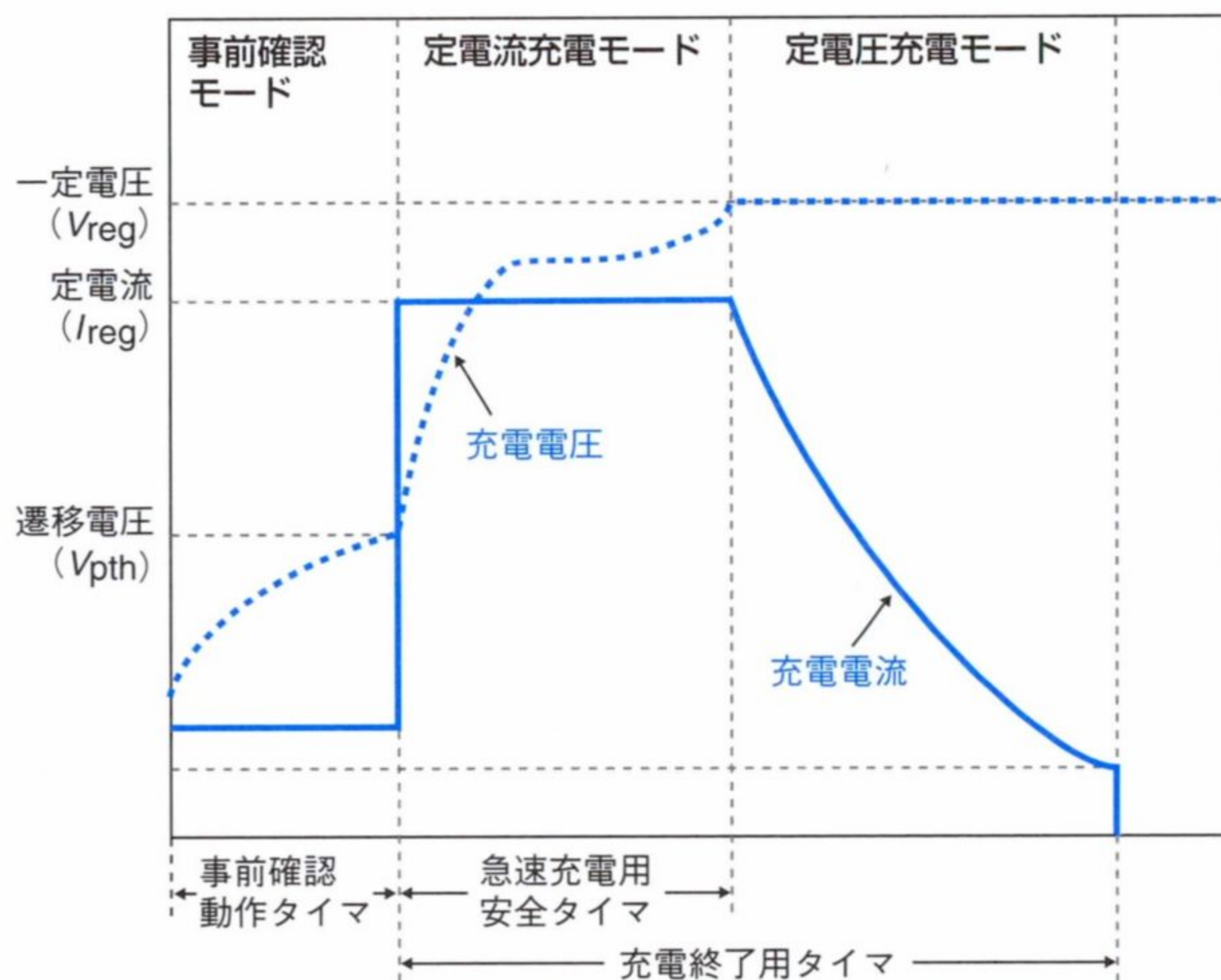
① 第一段階

まず電源がオンとなったときバッテリ電圧が、2.8V（Vpth）より高い場合には、この第一段階を省略します。低い場合には、第一段階を実行します。少しの充電電流を流してみて、バッテリ電圧が上昇するかどうかをチェックします。これでバッテリが正常かどうかを判定します。もし一定時間経っても電圧が上昇しなければ、異常として充電動作を終了します。この時間は、標準では60分±15分となっています。

② 第二段階

バッテリが正常と判定されたら、設定された最大電流（*I*reg）の一定電流で充電します。充電で電圧が4.2V（Vreg）に到達したら第3段階に移行しますが、一定時間たっても電源電圧が4.2Vにならない場合には、強制的に第三段階に移行します。この時間は標準1.5時間±0.4時間となっています。

③ 第三段階

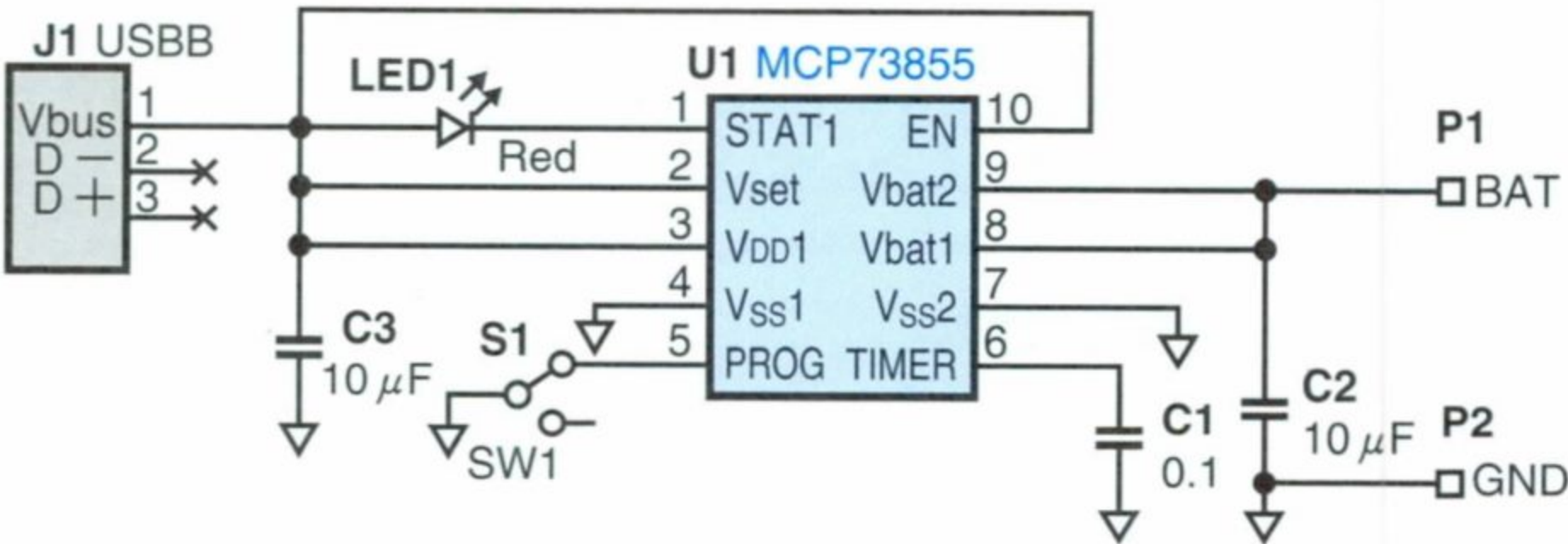
充電が満充電に近づいて電池電圧が4.2Vになったら、今度は充電を定電圧で行うように切り替わります。次第に電流が減少し、規定電流（*I*term）以下になった時点で充電を終了します。一定時間経っても規定電流以下にならなかった場合には、強制終了とします。この時間は第二段階から合計で3時間±0.8時間となっています。

◆図5.3.1　充電のシーケンス

5-3-2 回路

参考
「MCP73855」は米マイクロチップテクノロジー社から購入可能。

アドバイス
「MCP73855」のデータシート（英語版）は米マイクロチップテクノロジー社のホームページよりダウンロードできます。

MCP73855を使った小型充電器を作ってみましょう。データシートにある推奨回路に従って作成した回路図が図5.3.2となります。

PROG端子をオープンにするかグランドに接続するかで充電電流が切り替わりますが、これはUSBの仕様に合わせてあり、ノートパソコンなどの100mA供給のUSBの場合にはオープン側に、500mA供給のUSBの場合はグランド側に切り替えます。

◆図5.3.2 USB接続充電器の回路図

発光ダイオードで状態が表示されるようになっていて、表5.3.2のような状態表示となります。

◆表5.3.2 発光ダイオードの表示と状態

状態	LED
充電中	点灯
充電完了	消灯
充電異常	フリッカ

MCP73855が小型フラットパッケージタイプなので、プリント基板を製作しています。回路図をベースにして作成したプリント基板のパターン図が、図5.3.2となります。

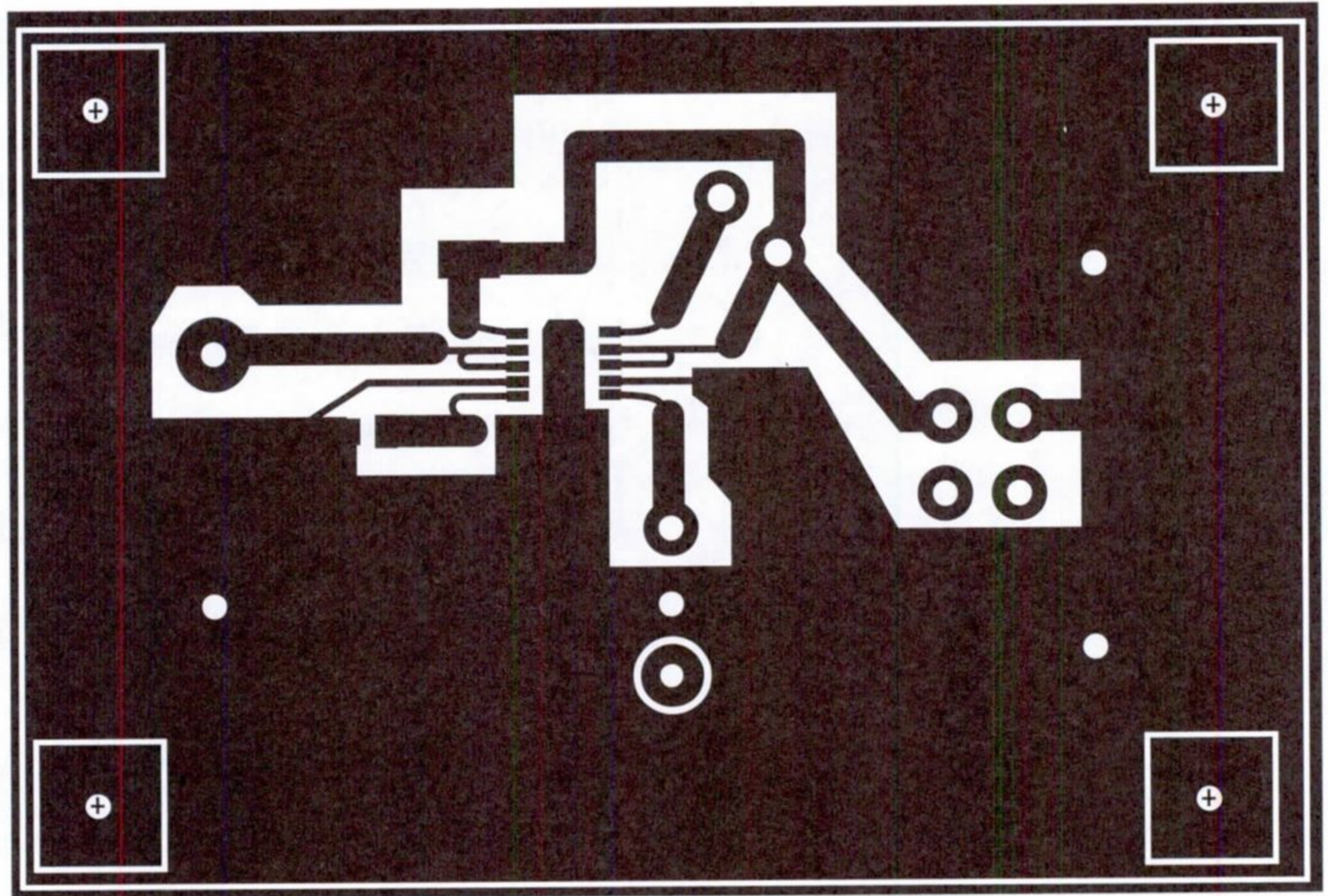
5-3-3 部品、組み立て、調整

注意
MCP73855は約3mm×3mmという非常に小さなICです。よってパターンは細くなっています。

◆表5.3.3 部品一覧

部品番号	品名	型番・仕様	数量
U1	充電制御用IC	MCP73855	1
J1	USBコネクタ	基板取付け用Bタイプ	1
LED1	LED	赤	1
C1	セラミックコンデンサ	チップ型コンデンサ 0.1 μF 16V	1
C2,C3	セラミックコンデンサ	チップ型コンデンサ 10 μF 25V	2
S1	スイッチ	スライドスイッチ	2
	みの虫クリップ	赤、黒	2
	ビニールコード	赤、黒	少々

参考

図5.3.3は、見やすくするために拡大したものです。基板の実サイズは「28mm×41mm」です。

◆図5.3.3　パターン図

　この回路で組み立てた充電器の基板が写真5.3.2となります。またはんだ面が写真5.3.3となります。コンデンサには**表面実装タイプのチップ型高容量セラミックコンデンサ**を使いましたので、はんだ面側にはんだ付けされています。

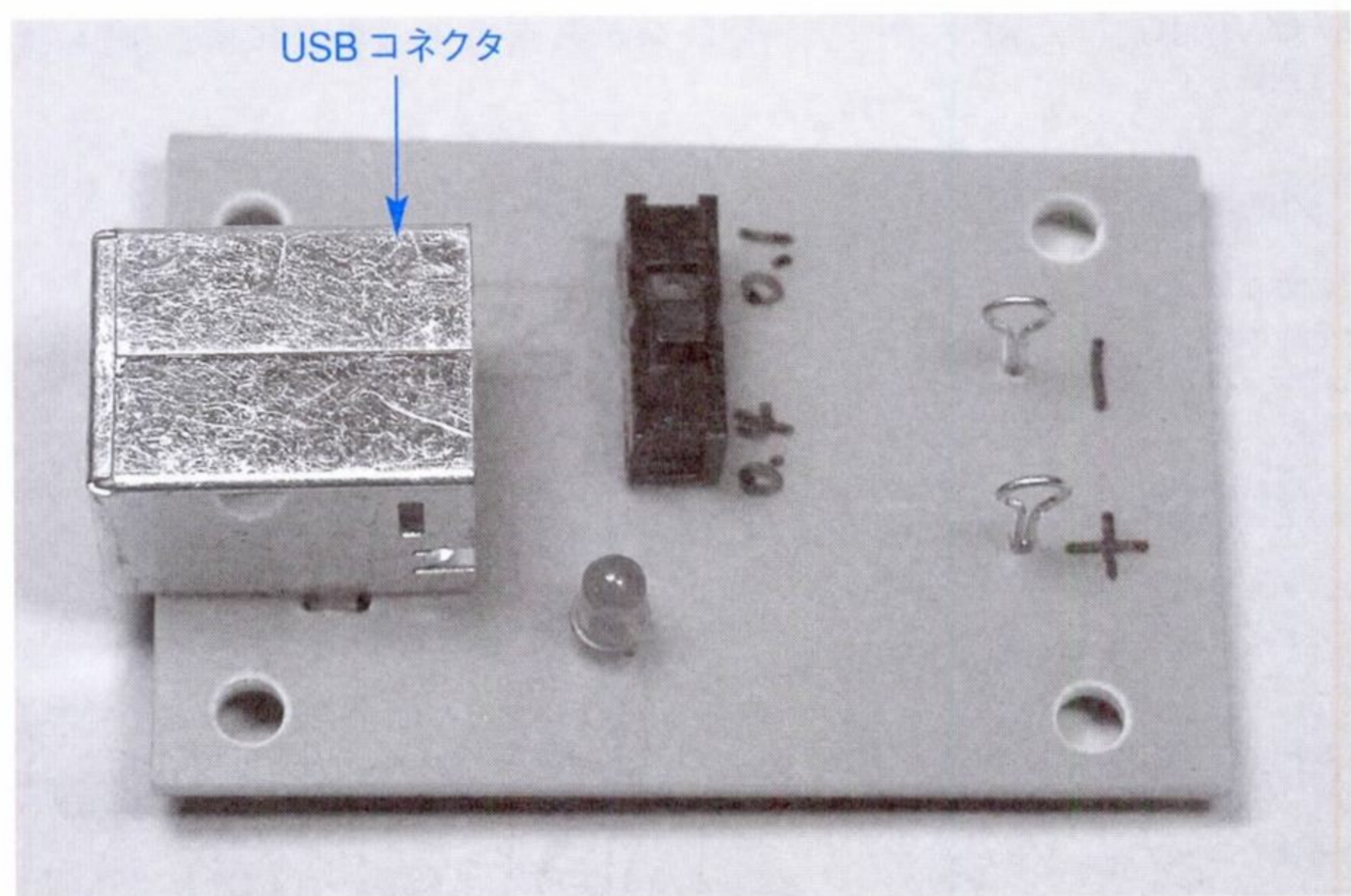
教えて

基板に取り付けたスライドスイッチの役目はなんですか？

〔回答〕

　デスクトップパソコンを利用する場合は0.4A側に、ノートパソコンから充電する場合は、0.1A側に切り替えて充電します。

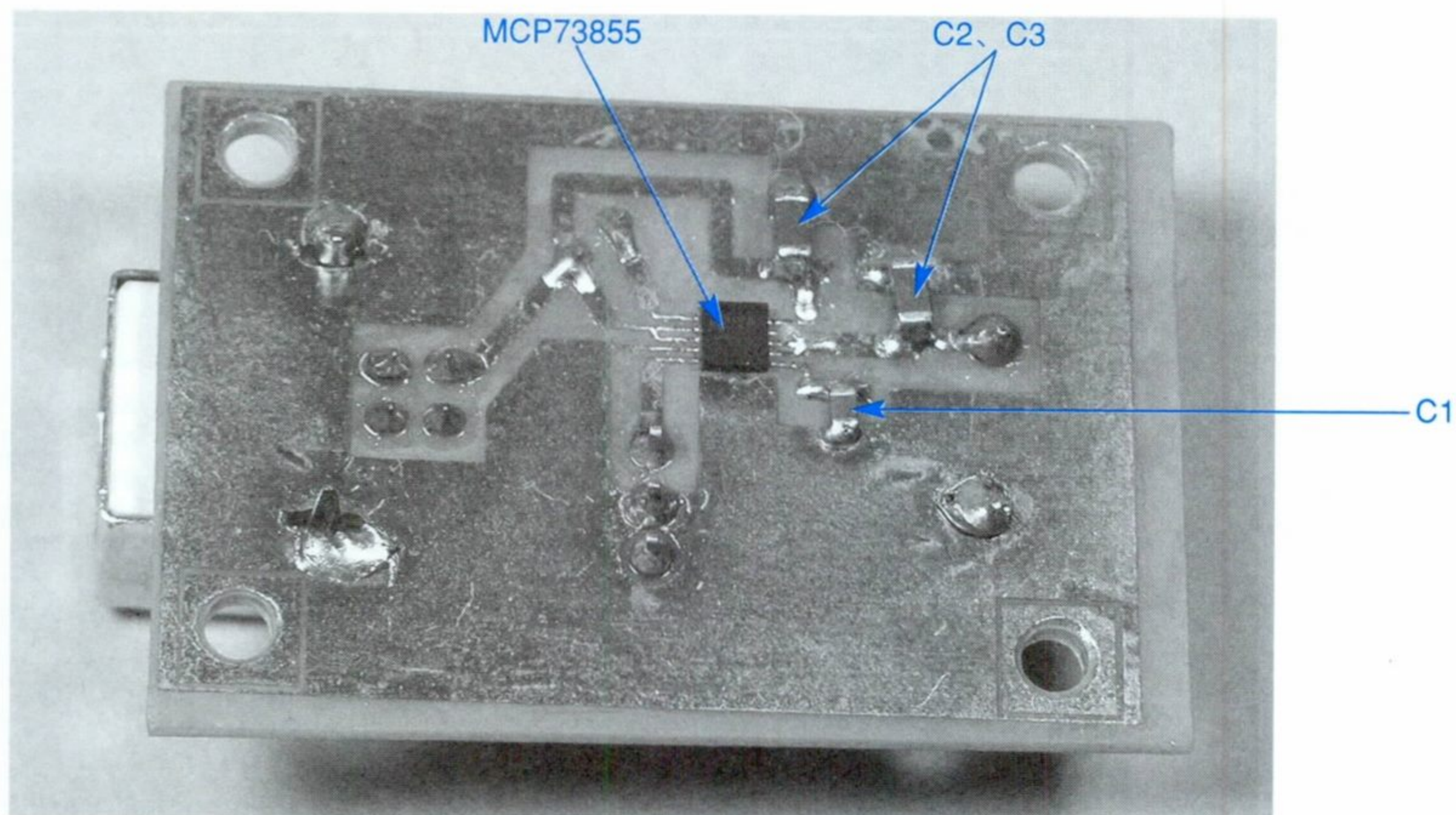
　基板に「0.4」「0.1」と書いておくとよいでしょう。

USBコネクタ

◆写真5.3.2　基板完成状態

◆写真5.3.3　基板裏面

■調整

簡単な回路ですから、はんだ付けさえ間違いなく行えば確実に動作します。充電するバッテリを出力に接続して、パソコンのUSBポートに接続したとき、発光ダイオードが点灯すれば充電動作が始まっています。

デスクトップパソコンの場合には0.4A側に切り替えて充電しても問題ありませんが、ノートパソコンから充電する場合には、0.1A側に切り替えて行った方がよいでしょう。

アドバイス

はんだ付けする際は、ルーペを用意し、はんだのミスがないかチェックしながら行ってください。

また「4-4-2：表面実装部品のはんだ付けの仕方」を再読してください。

注意

はんだ付けが終了したら、必ずはんだのチェックをし、テスタで導通テストを行うこと。

注意

リチウムイオン電池のプラス／マイナスを間違えないように。

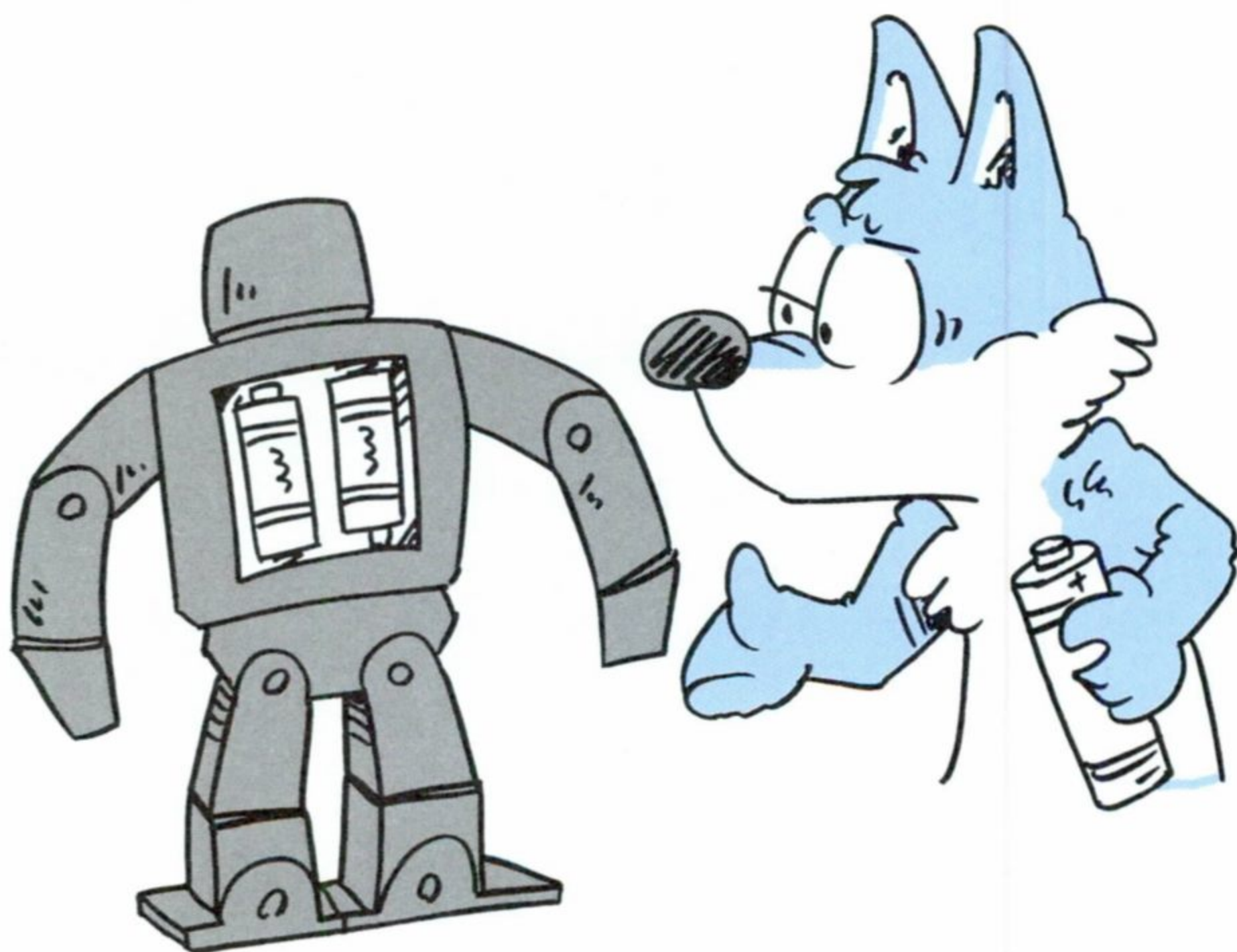
注意

この充電器でニッケル水素、ニッカド電池の充電はできません。

■上級者向け

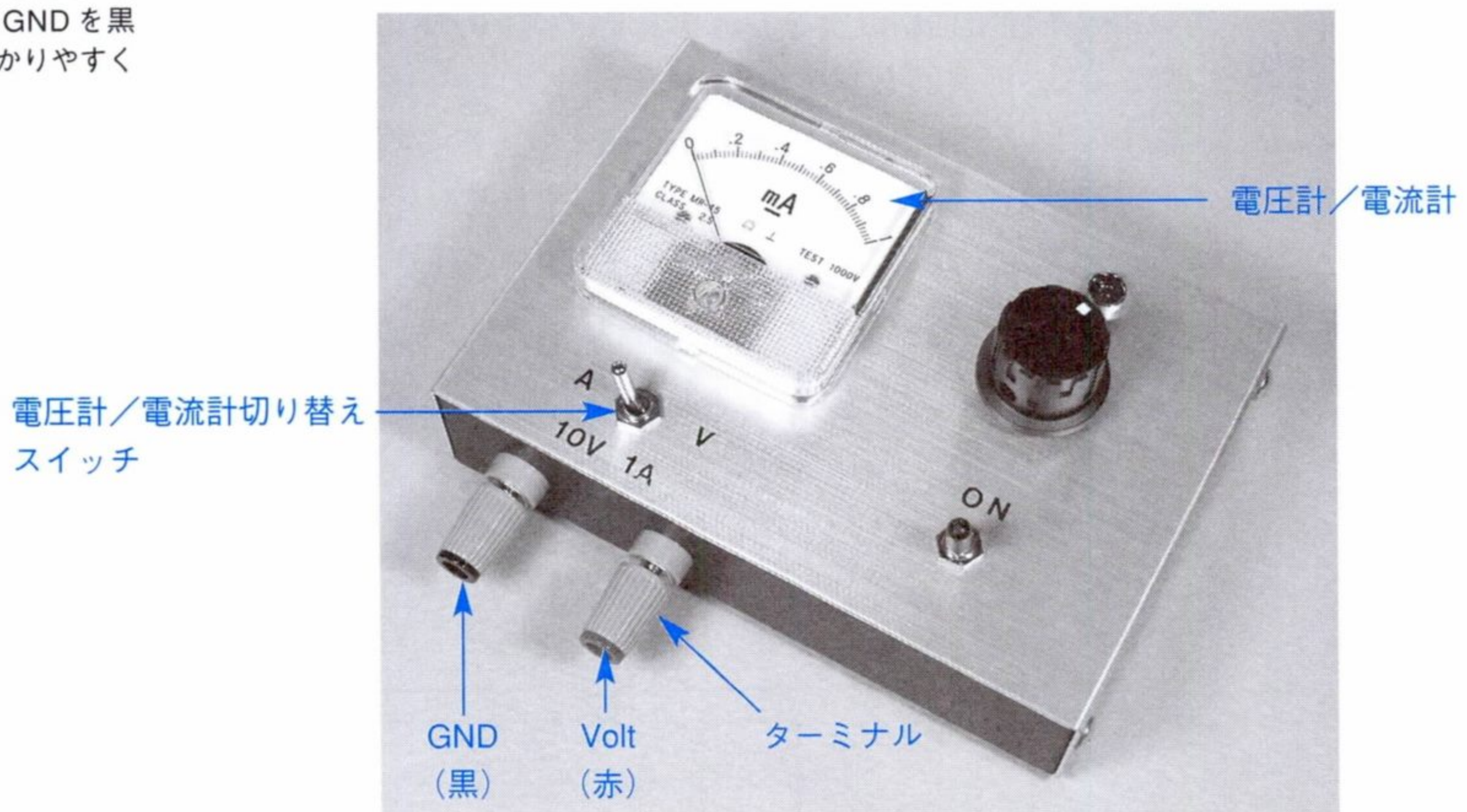
ここで解説する「リチウムイオン充電池の充電方法」は、電気の知識がない方が扱うと危険です。なお、電気の知識がある方であっても、商品の取り扱い注意事項を確認したうえで、十分注意して行ってください。

5-4 実験用電源

1 2 3 4 5

実験に使える簡単な電源を製作しましょう。いろいろな用途で便利に使えます。多くの用途に使えるように出力電圧は1.2Vから10Vの範囲で任意に可変できるようにします。入力にはACアダプタを使い、簡単に使えるようにします。さらに屋外でも使えるように、太陽電池を入力とすることもができるようにします。

全体の外観は写真5.4.1のように小型アルミケースに実装し、本格的なメータが付いていて出力の電圧と電流をチェックできるようにしています。

アドバイス

ターミナルは絶縁型を使用してください。Voltを赤、GNDを黒にするとわかりやすくなります。

◆写真5.4.1　実験用電源の外観

5-4-1 基本検討

参照

スイッチングレギュレータ方式 → p.182

電源としてアナログ回路を含めて多くの用途で使えるようにするため、シリーズレギュレータ方式とすることにします。スイッチング方式に比べ、発熱が大きいですが、出力の特性がよくノイズも少ないのでアナログ回路で使っても問題ないからです。

可変できるシリーズレギュレータ用のICを使って回路を簡単化します。古くからあって有名なレギュレータとして、ナショナルセミコンダクタ社に表5.4.1のようなシリーズがあります。

今回は、出力電流を最大1A程度とすることにしLM350Aを選びました。出力電圧を1.2Vから10V程度としましたので、入力電圧を15Vとすることとします。この条件で可能な最大出力電流は、放熱の仕方により決まってしまいますが最大1.5A程度となります。

◆表5.4.1　可変出力のシリーズレギュレータ例（ナショナルセミコンダクタ社資料より）

型番	入力電圧	出力電圧	出力電流	精度
LM317L	3V～40V	1.2V～37V	0.1A	4%
LM317A			1.5A	1.6%
LM317				4%
LM350A	3V～35V	1.2V～33V	3.0A	
LM337L	－3V～－40V	－1.2V～－37V	0.1A	4%
LM337			1.5A	3%

5-4-2　回路設計

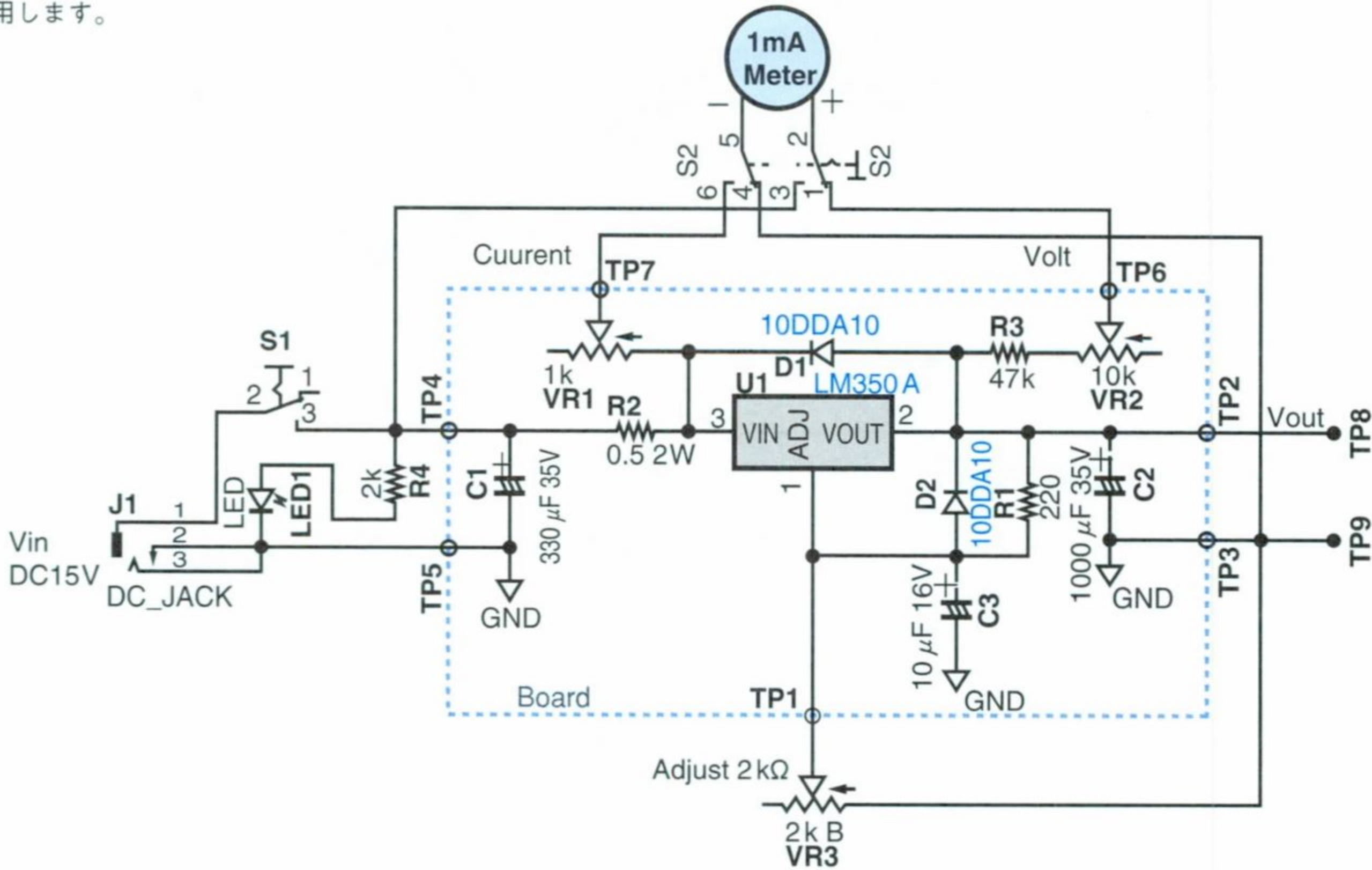
参考

入力源に15V 2A以上のACアダプタを利用します。

アドバイス

1個のメータで電流／電圧を切り換えて使用します。

この条件で回路設計をします。データシートにある基本の使い方どおりとして図5.4.1の回路図とします。入力源として15V 2A以上のAC**アダプタ**を使うことにすると、全体が非常に簡単な回路でできますので製作も簡単にできます。

電源の出力状況をモニタできるよう本格的なアナログメータを使います。1個のメータを電流計と電圧計と共用して使いますので、切り替え回路が必要になります。切り替え回路にはメータのフルスケールを調整できるように電圧用と電流用にそれぞれ半固定抵抗をメータに直列に追加しておきます。

◆図5.4.1　回路図

5-4-3 組み立てに必要な部品

アドバイス
LM350ATは、入手が難しいかもしれません（サトー電気にて購入）。

教えて
LM350ATの代用部品はありますか？
〔回答〕
表5.4.1を参考に、LM350ATと同等の電圧、電流のものを選択してください。
なお代用部品を使用する際は、必ずデータシートでピン番号を確認してから取り付けてください。

注意
ケースはアルミケースを使用してください。

アドバイス
完成後にメータの較正をする際に、10Ω 10Wの抵抗器（1個）が必要になります。

必要なパーツは表5.4.2となります。組み立ては標準の穴あき基板を使い、アルミケースに納めることとします。この中ではメータがちょっと高価ですが、電源の電圧と電流を正確に見れるように本格的なものを使いました。

◆表5.4.2　部品一覧

部品番号	品名	型番・仕様	数量
U1	可変レギュレータ	LM350 AT	1
D1,D2	ダイオード	10DDA10	2
C1	電解コンデンサ	330 μF 35V	1
C2	電解コンデンサ	1000 μF 35V	1
C3	電解コンデンサ	10 μF 16V	1
R1	抵抗	220 Ω 1/4W	1
R2	抵抗	0.5 Ω 2W	1
R3	抵抗	47kΩ 1/4W	1
R4	抵抗	2kΩ	1
VR1	半固定抵抗	10kΩ	1
VR2	半固定抵抗	100kΩ	1
VR3	可変抵抗	2kΩ　Bパネル取り付け型	1
S1	トグルスイッチ	AC125V　2P	1
S2	トグルスイッチ	AC125V　6P	1
J1	DCジャック	パネルタイプ	1
LED1	発光ダイオード	ブラケット付	1
	メータ	MR45 1mA	1
	ターミナル	絶縁型	2
	ツマミ	中型	1
	基板	サンハヤト	1
	ケース	タカチ YM-100	1
	ねじ、カラー、他		少々

5-4-4 組み立て

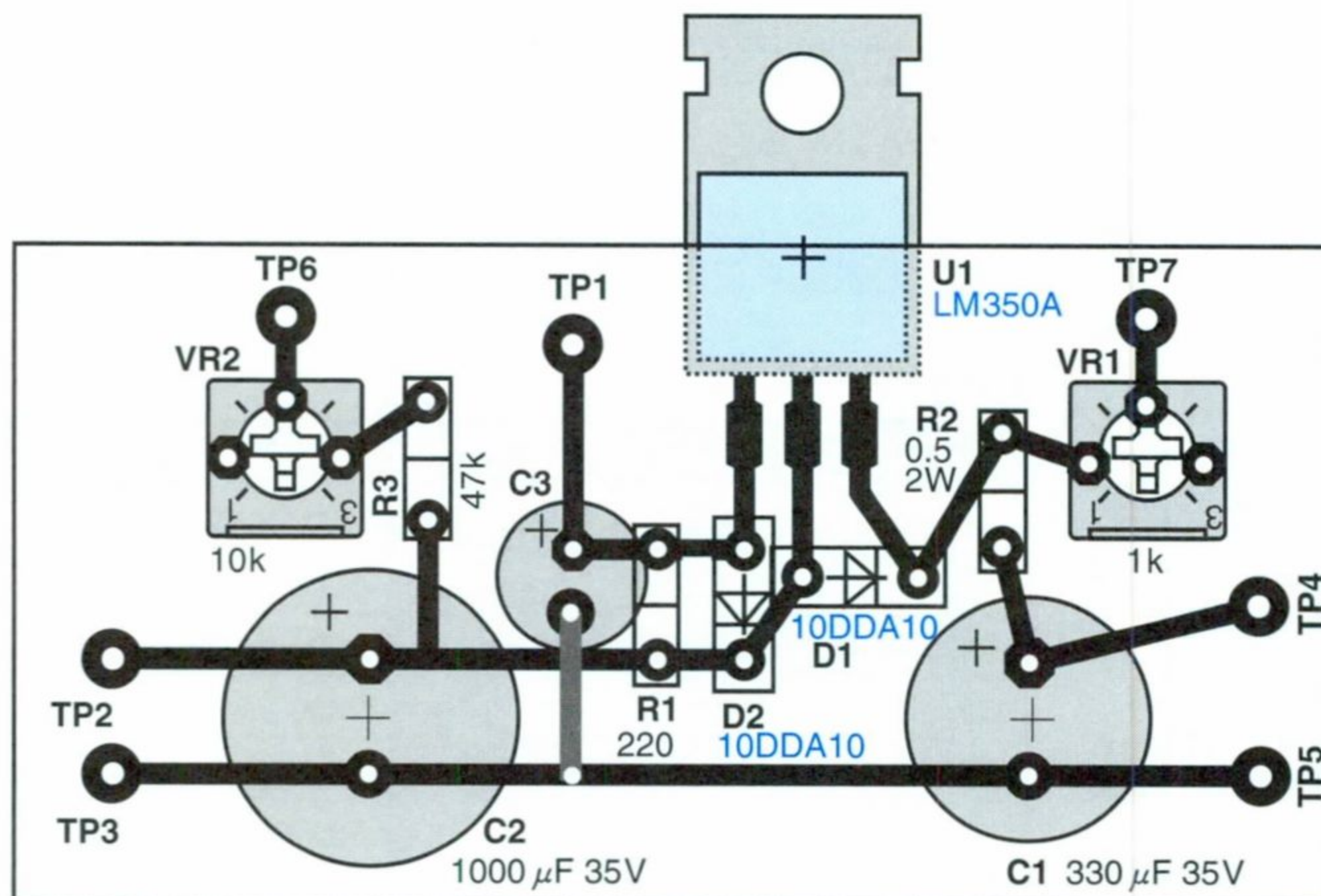
教えて
レギュレータICに放熱器は付けないのですか？
〔回答〕
アルミケースに直接固定し、ケースを放熱器の代わりに利用します。

組み立ては基板から行います。穴あきユニバーサル基板に組み立てますが、裏面の配線は抵抗やコンデンサの余ったリード線を使って行います。

全体の配置は図5.4.2のようにします。LM350ATのICの取り付けは、放熱をアルミケースそのもので行うようにするため、後からICをケースにねじ止めしますので、基板の下側に、基板の高さが5mm程度になるように取り付けます。

アドバイス

C3のマイナス側のリード線を、C2のプラス側のリード線をまたぐように配線します（基板の実装面側から配線しました。写真5.4.2参照）。

TP6 TP1 U1 LM350A TP7
VR2 VR1
R3 47k C3 R2 0.5 2W
10k 1k
10DDA10 D1 TP4
TP2 R1 220 D2 10DDA10 TP5
TP3 C2 1000μF 35V C1 330μF 35V

◆図5.4.2　基板組立図

ごめんなさい

図5.4.2のR1の位置が、写真5.4.2ではC3の左になっています。

回路図を変更したものではありません。図5.4.2ではイメージしにくいようなら、図5.4.1（回路図）、写真5.4.3を見ながら行ってください。

基板の組み立てが完了した状態が、写真5.4.2と写真5.4.3です。レギュレータICを基板の裏側に取り付けていることに注意してください。

半固定抵抗 10kΩ
半固定抵抗 1kΩ
TP6 TP1 TP7
TP4
TP8 TP2
TP9 TP3
TP5
コンデンサの足

◆写真5.4.2　基板組み立て完了（部品面）

◆写真5.4.3 基板組み立て完了（はんだ面）

これをケースに取り付けます。基板は5mmのスペーサで浮かし、LM350ATのICは熱伝導シートを挟んでケースの底にねじで固定します。

前面パネルには可変抵抗、メータ、メータ切り替えスイッチなどを取り付けますので、ちょっと込み入った配線となります。間違えないように注意しながら配線します。組み立て配線が完了した内部が写真5.4.4となります。

ケース底面のメータ部分に穴が2個あけてありますが、これはケースの深さがメータの奥行きとぴったりだったため、メータの端子のねじがケース底に接触しないようにするためのものです。これでケース上面を押しても端子とケースが接触することはありません。

DCジャックへの配線は、使用するACアダプタのプラグの極性を調べてから行ってください。センタープラスになっているものが多いとは思いますが、逆になっている場合もあるので注意してください。

アドバイス

ICはアルミケースに直接ねじで固定するので、スペーサの高さ分（5mm）を考慮して取り付けます（写真5.4.4参照）。

アドバイス

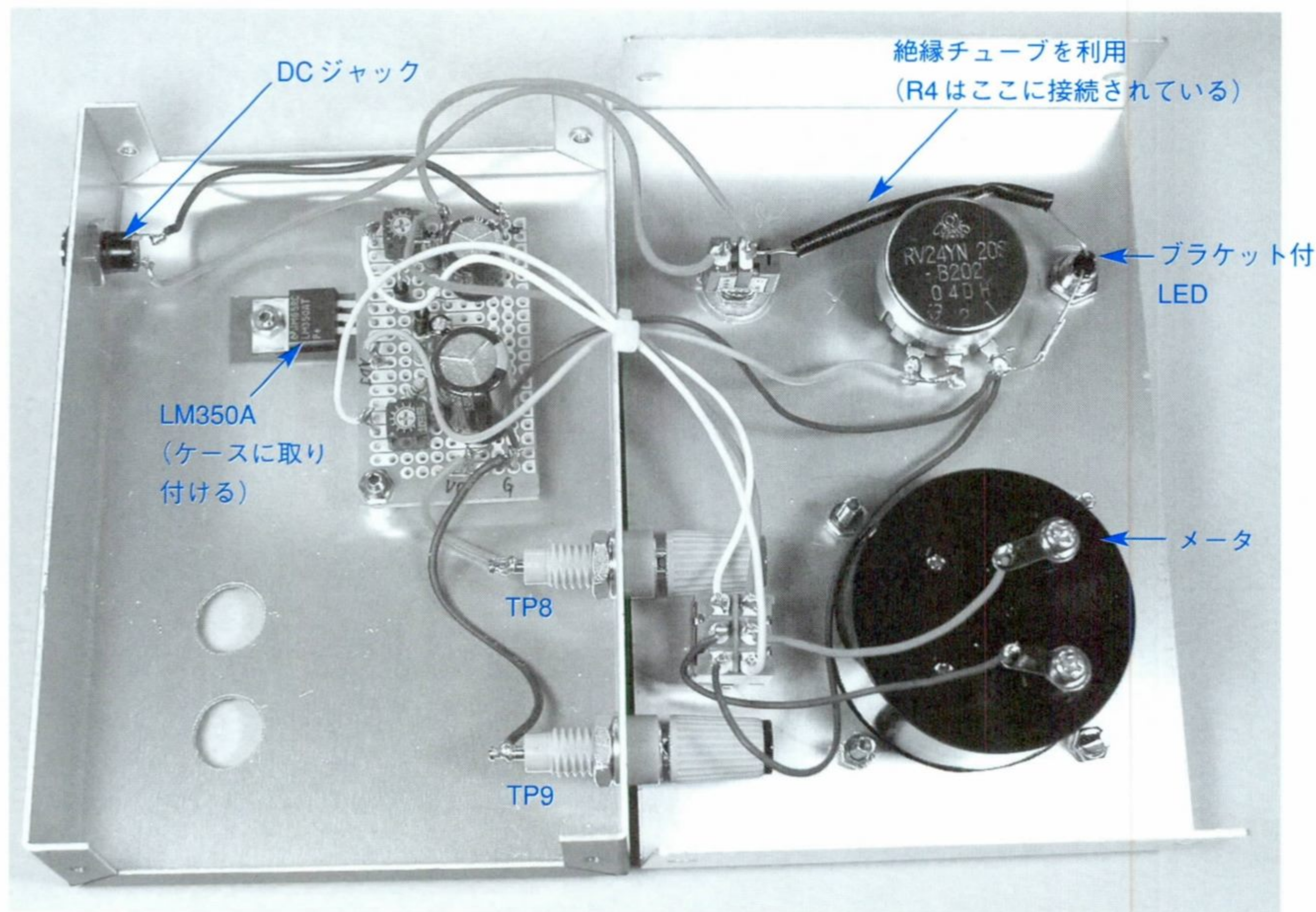
熱伝導シートを挟んでケースの底にねじで固定します。

トグルスイッチとLEDの配線は、可変抵抗器の横に配線するため絶縁チューブを利用して行っています。チューブがなければ、ビニールの線材で配線してください。

注意

使用するACアダプタの極性を調べてから配線してください。

参照

・プラグジャック → p.136

◆写真5.4.4　配線完了した内部

5-4-5 テストと調整

用語解説

・較正
電圧計、電流計の目盛りを調整し、正しい数値に合わせること。

基本的な動作は簡単な回路ですから、配線さえ間違えなければ動きます。調整はメータの較正だけです。

動作の確認は図5.4.3(a)のように、テスタを接続し、本機のツマミを回してテスタの電圧が変化すれば正常に動作しています。

■メータの較正

メータの較正は電圧計と電流計ごとに行います。

電圧計 まず図5.4.3(a)のようにテスタを接続し、レンジを10Vの電圧を計測できるようにします。そして本機のメータ切り替えスイッチを電圧計の方に切り替えて、出力電圧をテスタで見ながら出力電圧が10Vになるように電圧調整ツマミを設定します。この状態でメータがフルスケールとなるように、10kΩの半固定抵抗を調整します。メータはこれで**フルスケール10Vの電圧計**となります。

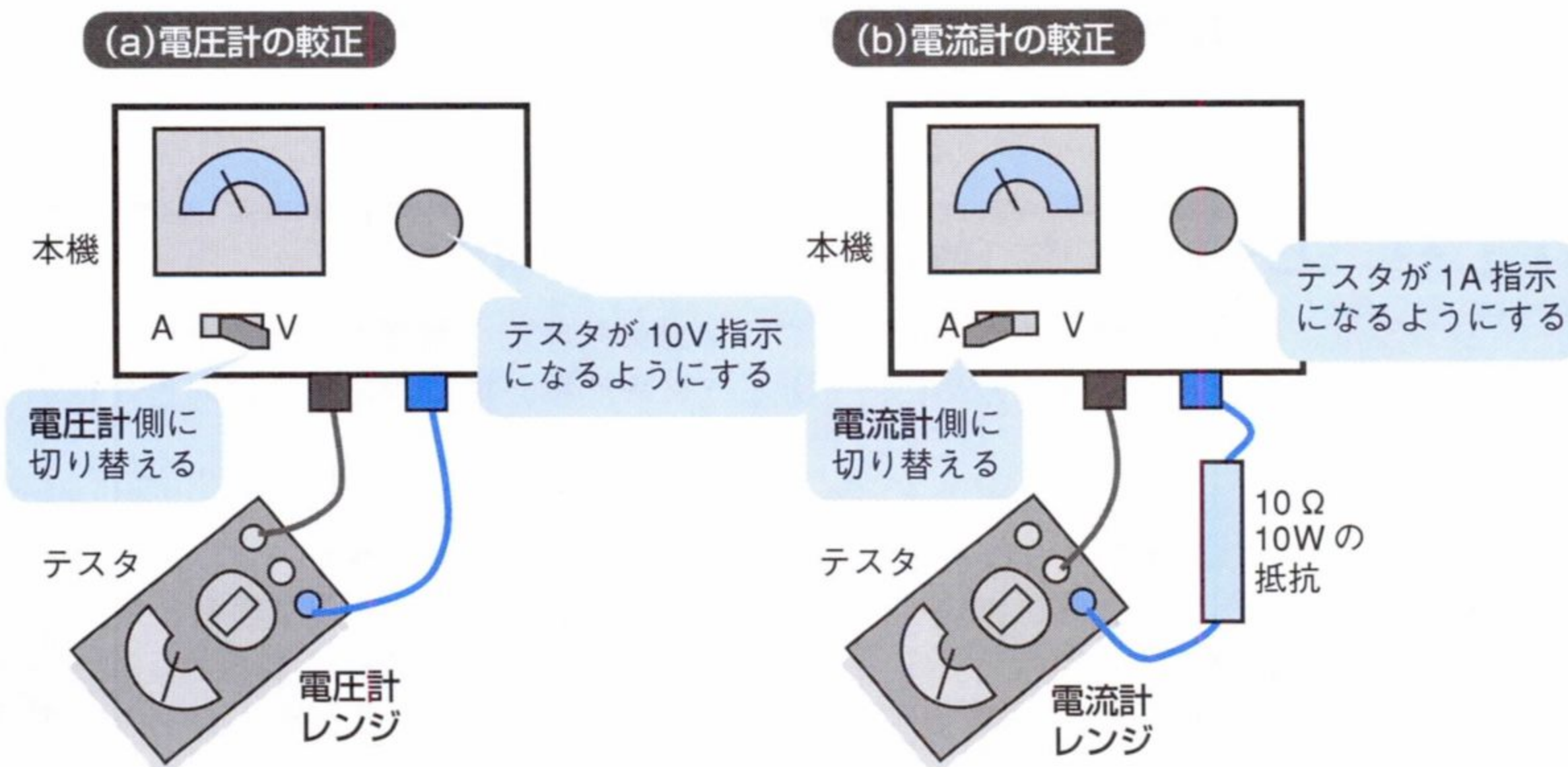
電流計 次に図5.4.3(b)のように、代用負荷となる10Ω 10Wの抵抗とテスタを接続し、テスタを1Aの電流を計測できるようにします。本体のツマミを回してテスタがちょうど1Aになるようにします。この状態で本機のメータを電流計に切り替え、フルスケールになるように1kΩの半固定抵抗を調整します。これでメータは**フルスケール1Aの電流計**となります。

◆図5.4.3　メータの較正

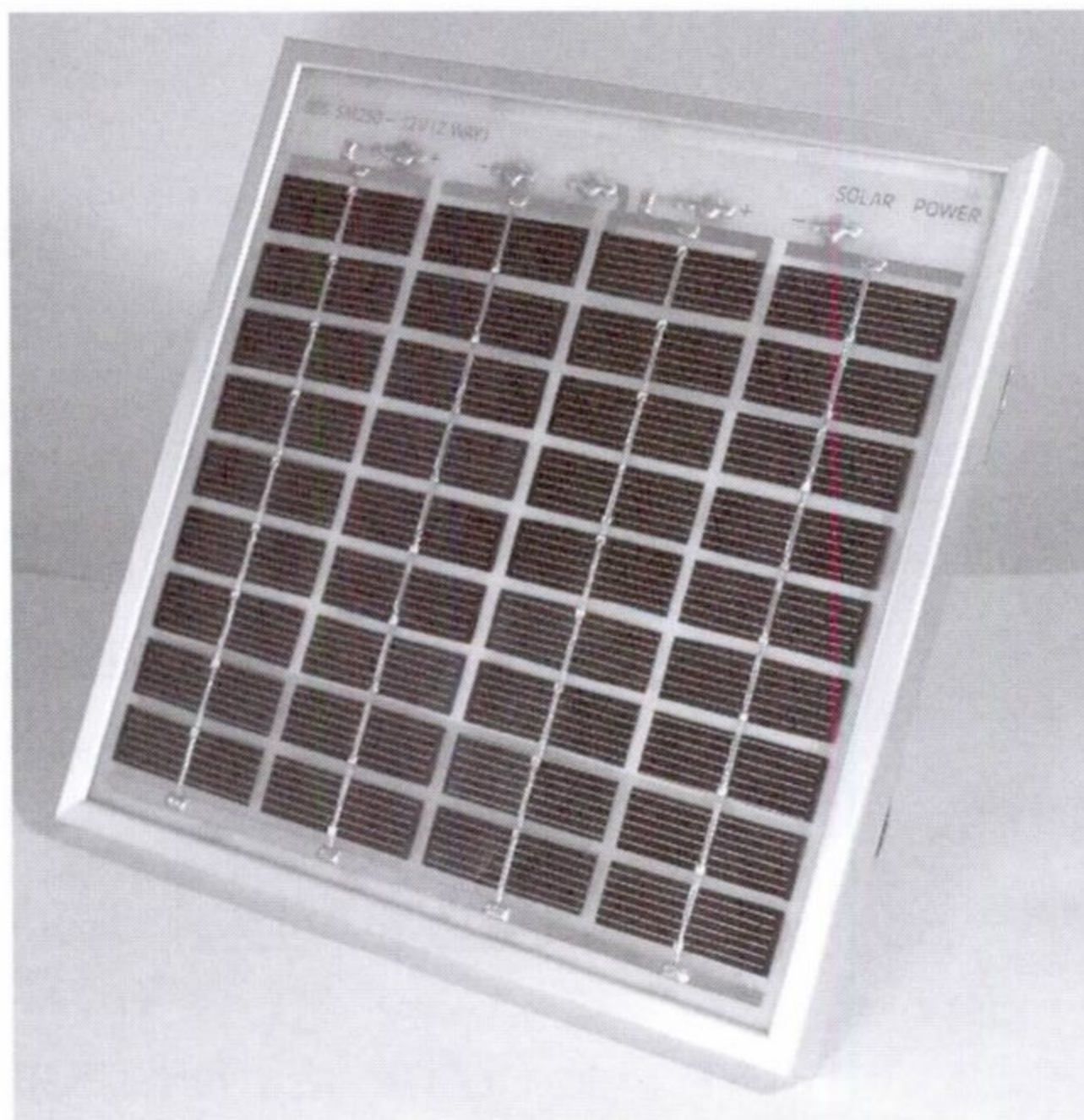
? 教えて

右に紹介されている太陽電池パネルが入手できません。他にどんな太陽電池パネルが使えますか。

〔回答〕

負荷にもよりますが、5V、500mAが必要であれば、9V～15Vで500mA以上のものを選んでください。

■太陽電池を入力源とする場合

使う電源電圧と負荷電流によって必要な太陽電池が変わってきます。

今回使用した太陽電池は、写真5.4.5に示すようなもので、18V 250mAまたは9V 500mAという2種類に切り替えられるものです。この太陽電池の出力にDCプラグを接続して直接本機の入力とします。これで、9V出力で使えば晴天のときには5Vで500mA以下の負荷は問題なく駆動できます。

◆写真5.4.5　屋外用で使う太陽電池の例

■注意すること

実際に使用する場合の注意として、入力には負荷に流す電流と同じ電流が流れることです。したがって入力源として使うACアダプタには、出力として供給する負荷電流以上の電流が流せるものを使う必要があります。例えば、負荷に1A流すとしたら、入力のACアダプタには、電圧は出力電圧＋3V以上の電圧で1A以上

の電流が供給できるものを使う必要があります。

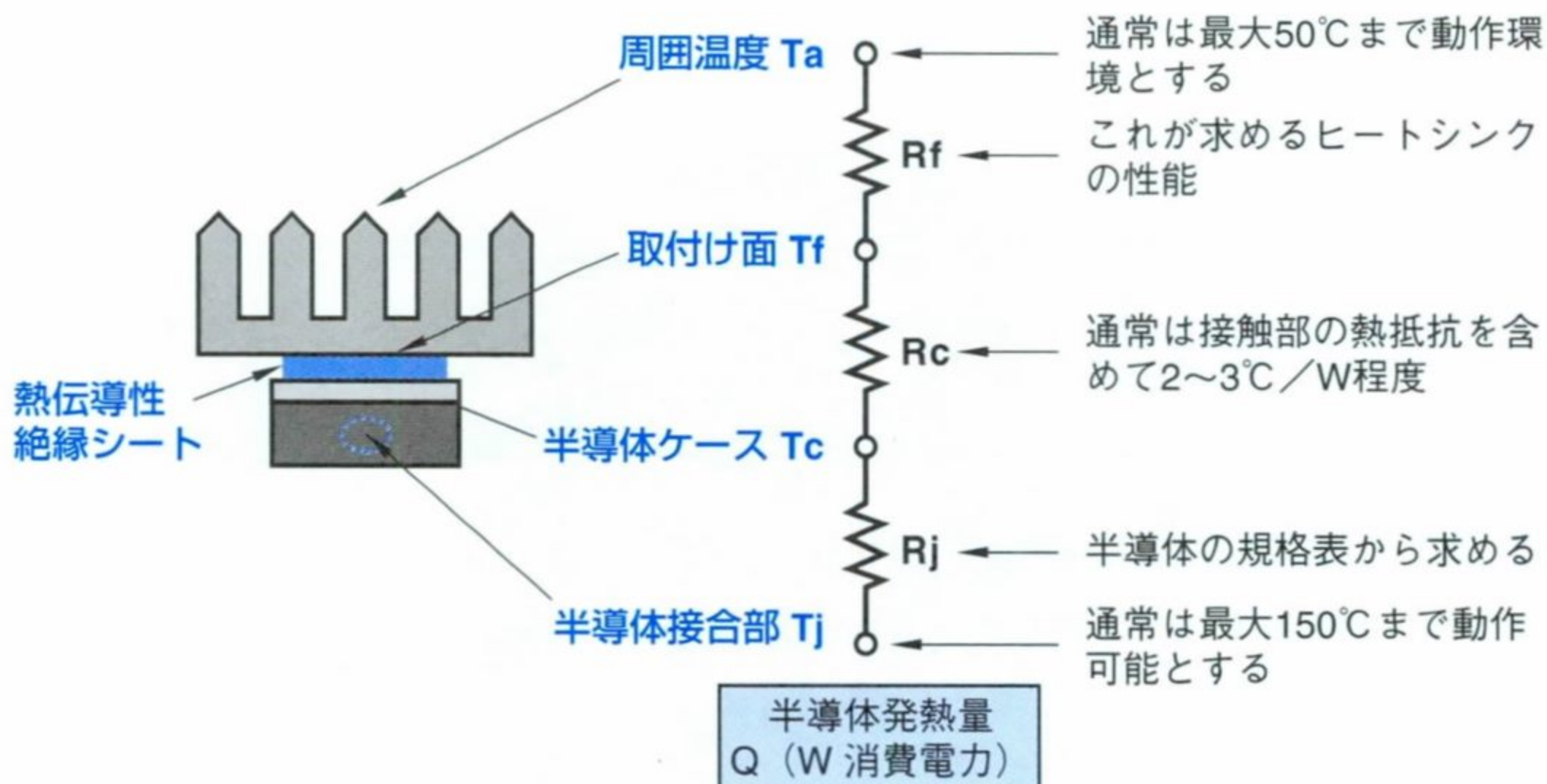
COLUMN ヒートシンク（放熱器）の大きさの求め方

ヒートシンクは、半導体の発熱を外気に移して、半導体接合部の温度を一定温度以下にする働きをします。この放熱性をよくするために、できるだけ表面積が広くなるように複雑な構造をしています。

このヒートシンクをどれくらいの大きさにしたらよいかを決めるのは結構難しい問題です。通常ヒートシンクの放熱の問題を考えるときには、「熱抵抗」という概念を使います。これは、単位が「℃／W」で表され、ある物体に1ワットの熱を加えたら何度上昇するかで表します。

ここで、半導体を放熱するためのヒートシンクを考えるときのモデルは、熱抵抗を使って図1のように表されます。半導体内部の接合部が熱の発生源ですから、これを出発点にして半導体ケース、熱伝導体、ヒートシンク、周囲気中と順に熱が伝わっていきますが、それぞれの物体ごとに熱の伝わりやすさ、つまり熱抵抗があります。この熱伝導の様子は熱抵抗の直列によって表現することができ、図1のような表現で表すことができます。

この図から、半導体での発熱量と、ケースまでの熱抵抗がわかれば、必要なヒートシンクの熱抵抗の最大値が求められることになります。ここで接合部の温度は上限が150℃と決められています。しかしこれは許容最大値ですから、これの90％以下として余裕を持たせて設計をします。また、半導体とヒートシンクの接触部の熱抵抗値は、裸の状態で直接ヒートシンクに接触させると、大体0.6℃／W程度でこれにシリコングリースを塗布すると、0.4℃／W程度まで小さくなります。ここに熱伝導性絶縁シートを挿入すると、接触熱抵抗も含めて2～3℃／W前後となります。

周囲温度 Ta
通常は最大50℃まで動作環境とする
Rf
これが求めるヒートシンクの性能
取付け面 Tf
Rc
通常は接触部の熱抵抗を含めて2～3℃／W程度
熱伝導性絶縁シート
半導体ケース Tc
Rj
半導体の規格表から求める
半導体接合部 Tj
通常は最大150℃まで動作可能とする
半導体発熱量 Q（W 消費電力）

ここで発熱と放熱の関係は　Rt ＝ Rj＋Rc＋Rf　として　Tj－Ta ＝ Q×Rt
なので、実際の値を代入すると　100 ＞ Q×Rt　とすれば、十分の放熱をしていることになる。

◆図1　発熱と放熱の関係

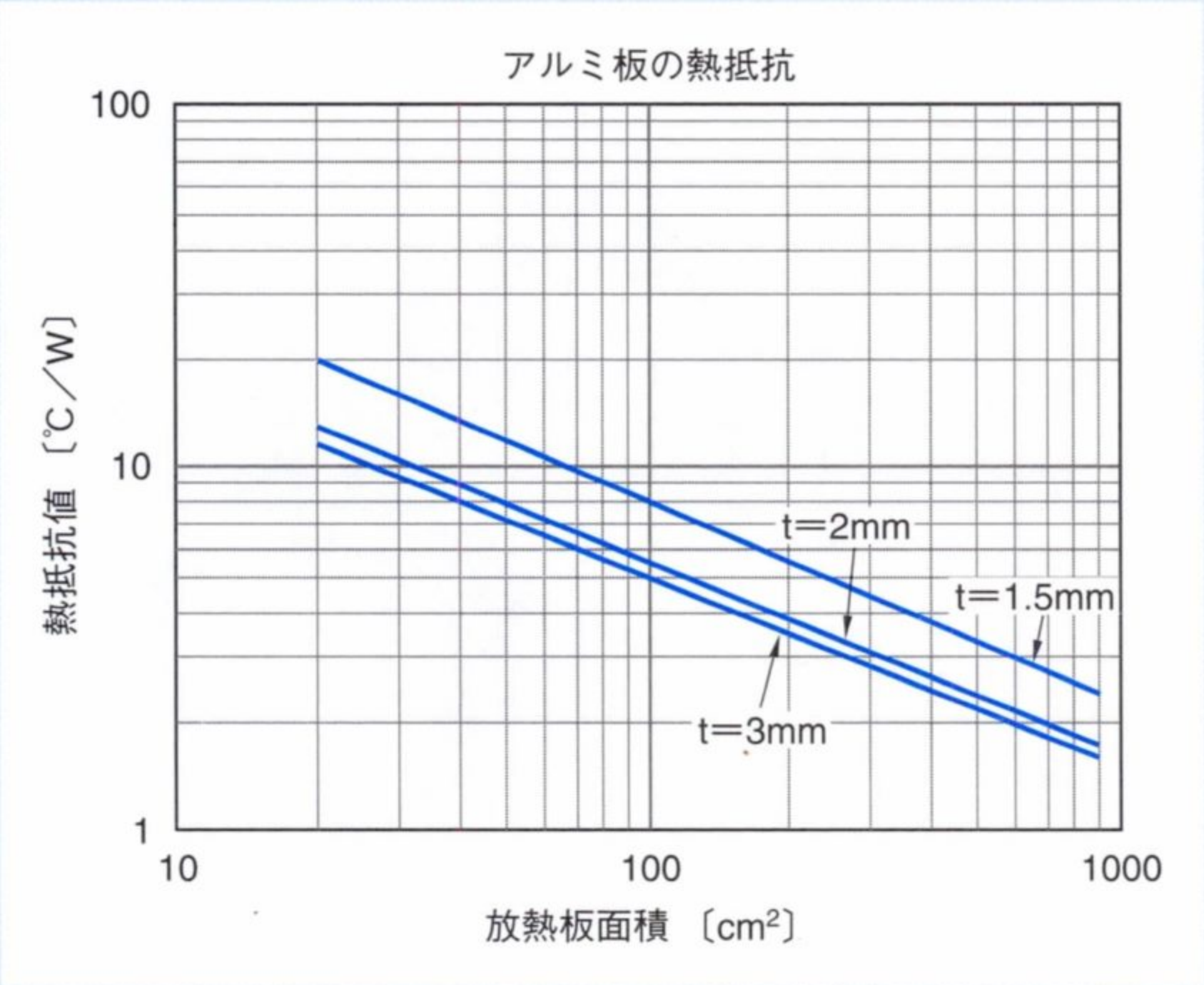
例えば実際の例で説明すると、電源のレギュレータICで、発熱量が4Wで、半導体ケースまでの熱抵抗が4℃／Wとすると、絶縁シート部分を3℃／Wとして、接合部温度を10％の余裕を見ると、

Rf＋3＋4 ＜ （150×0.9－50）／4＝21
Rf ＜ 14〔℃／W〕

と求まります。

あとはこの熱抵抗より小さな熱抵抗のヒートシンクを探せばよいのですが、熱容量を明記したヒートシンクが案外少ないので、大体の目安になる値を下記の図表で求めます。

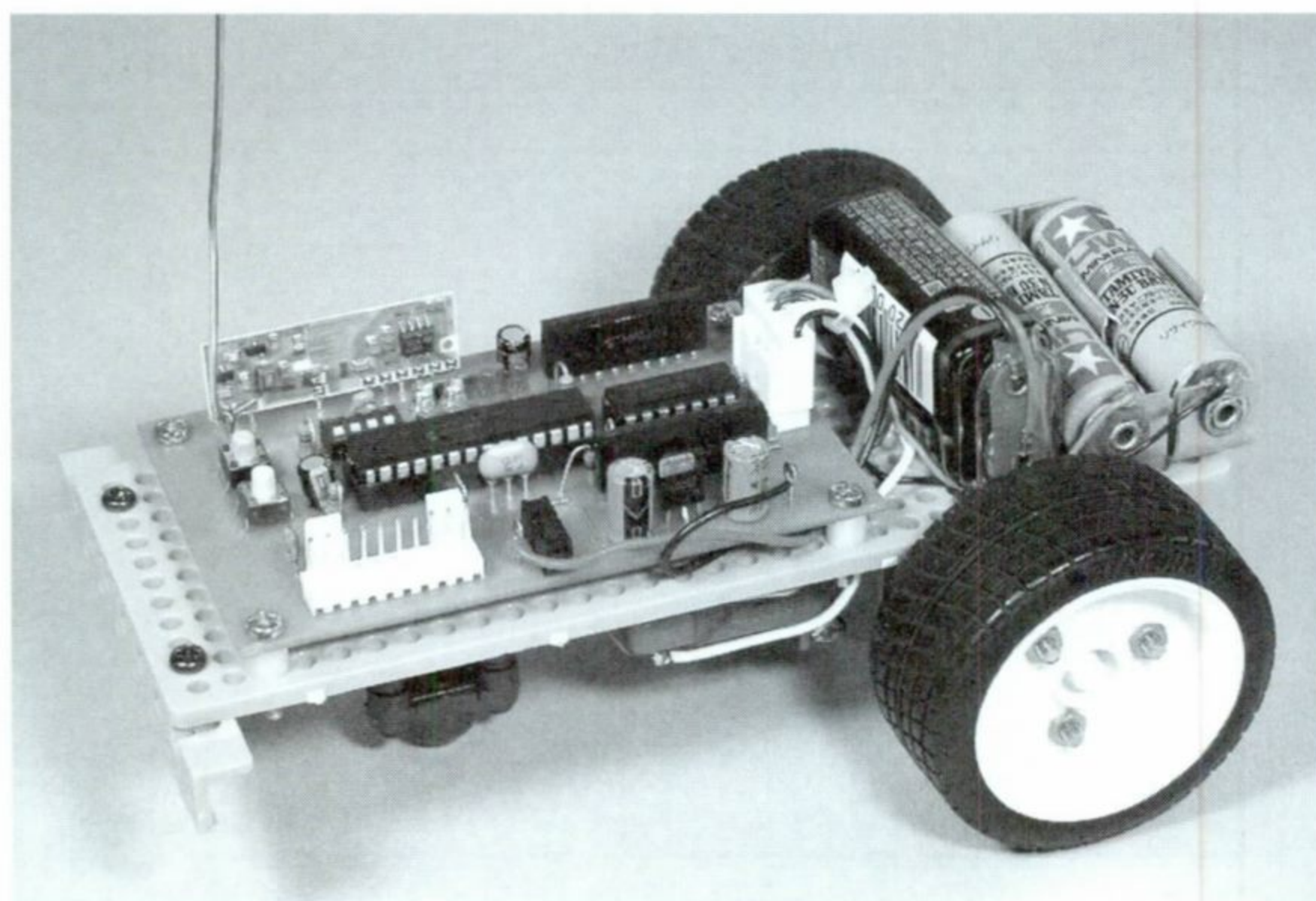
まず、図2はアルミ板の面積と熱抵抗値の概算値のグラフで、板厚が1.5mm、2mm、3mmの3種類についてそれぞれの面積と熱抵抗値の概算値をグラフにしたものです。

アルミ板の熱抵抗
熱抵抗値〔℃／W〕
100
10
1
10
100
1000
放熱板面積〔cm^2〕
t=2mm
t=1.5mm
t=3mm

◆図2　アルミ板の熱抵抗値

◆表1　アルミ板の熱抵抗値

アルミ板サイズ	概算熱抵抗
300×300×2mm	1.4℃/W
200×200×2mm	2.3℃/W
150×150×2mm	3.3℃/W
100×100×2mm	5.2℃/W
75× 75×2mm	7.6℃/W

5-5 無線操縦ラジコン車

無線操縦で動くラジコン車を作ってみましょう。基本的な動作を確認する模型ということで、写真5.5.1のようなタミヤ模型のパーツでシャーシを製作しました。

◆写真5.5.1　ラジコン車外観

5-5-1 基本検討と全体構成

参照
写真5.5.3 → p.297

無線操縦、つまりラジオコントロール（**ラジコン**）ですから、無線通信が必要です。無線通信の送受信部分は高周波を扱いますので、ちょっと簡単に自作するというのは難しいので、ここは市販の無線通信モジュール部品を使って作ることにします。ここで使った無線通信モジュールは、315MHz帯を使った無許可で通信できる無線通信モジュールで、高周波技術のことを何も知らなくてもできてしまいますので便利なものです。

駆動部はハンドルにするとちょっとメカ部が複雑になってしまいますから、2個のDCモータを独立に動かすことで、前後進、左右旋回を行うことにします。これで、2個のモータの回転方向の切り替えと可変速制御が必要になります。

参照
Hブリッジ → p.178

これらを実現するのは**フルブリッジ（Hブリッジ）**構成でモータを動かすのが簡単です。これで可変速制御は**PWM制御**ということになりますから、マイコンで制御するのが便利です。

用語解説
・PWM制御
パルス幅を変えることで、DCモータの回転数を変える方式。

■ラジコン車の内部構成

これらの基本検討結果から、ラジコン車の内部構成は、図5.5.1のようにします。大きく駆動部と受信ユニット部で構成しています。

・駆動部

市販の**ツインギヤモータセット**を使うことで簡単な構成にできます。車体の前輪にはタミヤの組み立て型**ボールキャスタ**を使っています。このボールキャスタ

は、組み立て方により高さが4種類に変えられるため便利です。シャーシはこれもタミヤの模型セットのプレートを使います。

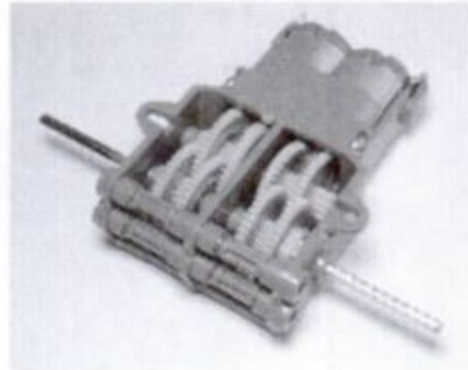
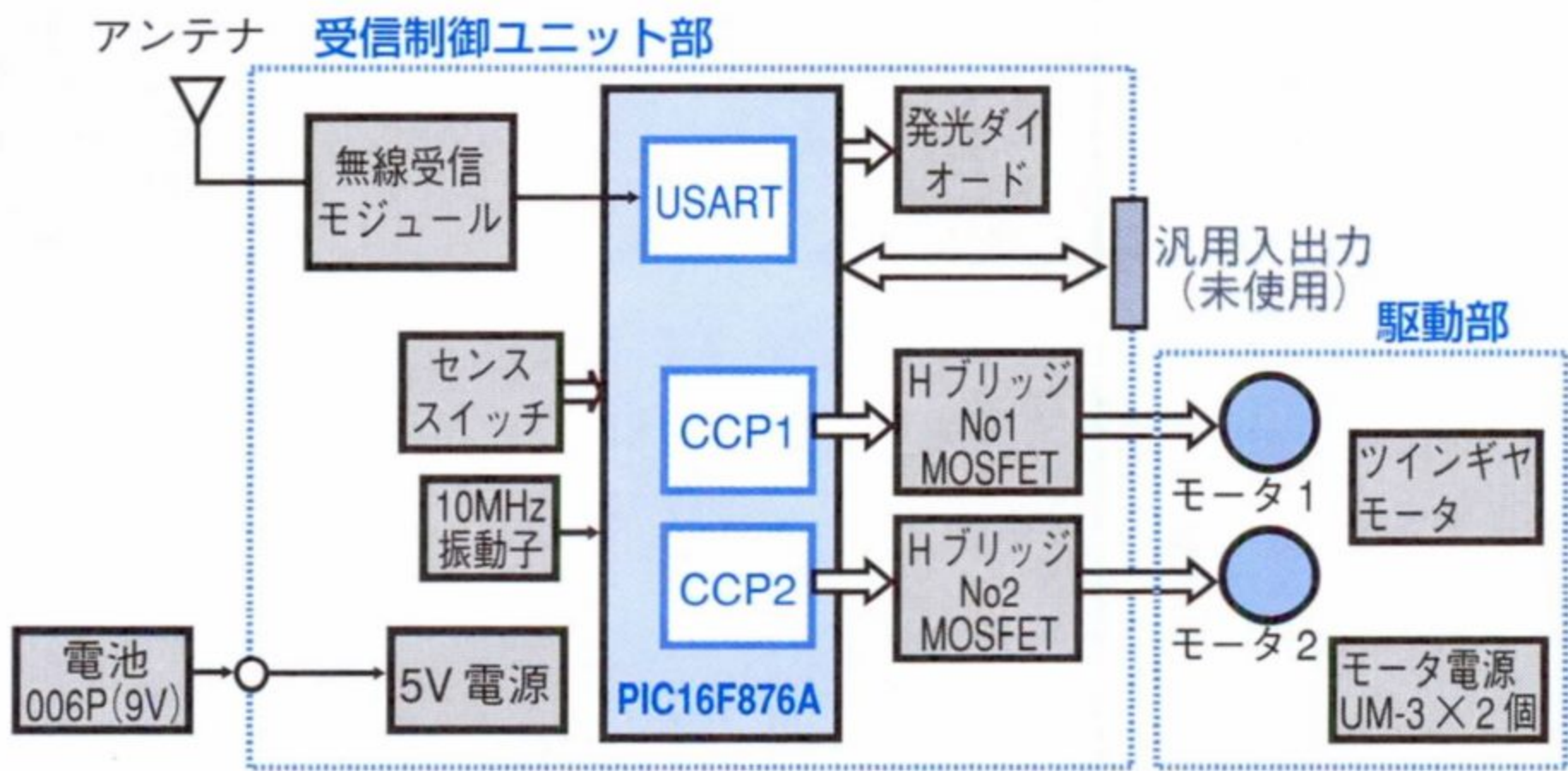
参考
・ツインギヤモータ〔タミヤ〕
・ボールキャスタ〔タミヤ〕

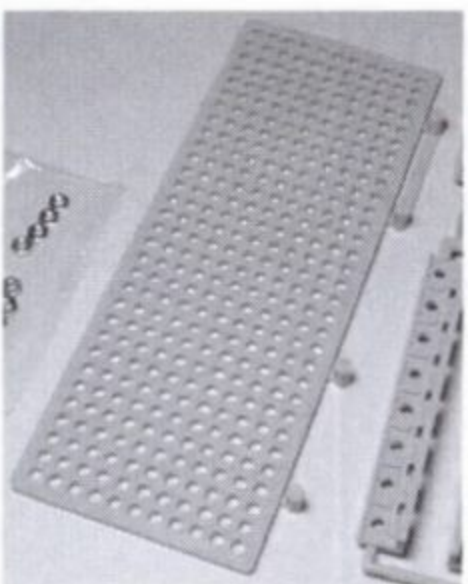
・受信ユニット部

受信ユニットの中心はPICマイコンです。モータ駆動部はMOSFETトランジスタアレイを使ったフルブリッジ構成となるようにして、PICマイコンのCCPモジュールによるPWM制御で行うことにします。

無線通信の受信モジュールは、PICマイコンの内蔵USARTモジュールに接続して2400bpsの速度で通信を行います。

・電源

モータ用と受信ユニット用に別々のバッテリとして、構成を簡単化しています。

用語解説
・**PICマイコン**
米マイクロチップ社が開発したマイクロコンピュータ。

◆図5.5.1　ラジコン車の内部構成

5-5-2　車体の組み立て

車体の組み立ては、大部分市販品だけで組み立てられますので、プラモデルと同じ要領でできます。まず使うパーツは、表5.5.1となります。シャーシ、駆動部ギヤユニット、車輪、ボールキャスタなど、いずれもタミヤの模型工作シリーズを使いました。

参考
・ユニバーサルプレート〔タミヤ〕
・タイヤ〔タミヤ〕

◆表5.5.1　車体のパーツ一覧

名称	型名・仕様	数量
シャーシ	タミヤ　ユニバーサルプレート	1
タイヤ	タミヤ　スポーツタイヤセット	1
モータ	タミヤ　ツインモータギアセット	1
キャスタ	タミヤ　ボールキャスタ	1
コンデンサ	0.001μF　セラミックコンデンサ	2
電池ホルダ	単3　2本金属製	1
電池	単3	2
電池	006P　9V	1
アンテナ	ピンチッププラグに2φすずメッキ線を固定	1
取り付けねじ、カラースペーサ、線材		少々

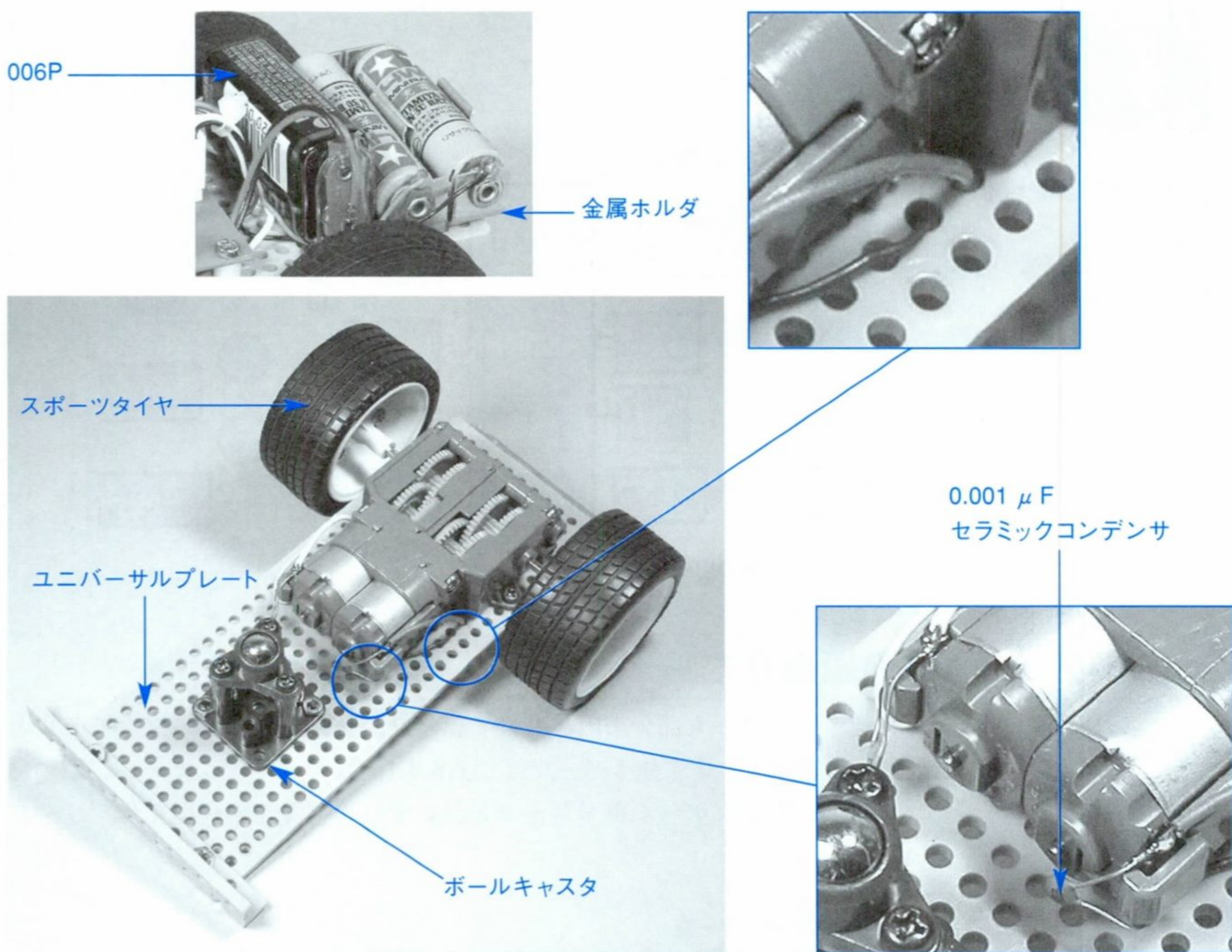
参照

タイラップ → p.243

常識

モータの端子間にセラミックコンデンサ（0.001 μF）をはんだ付けする（ノイズ対策）。

電源として、モータ用には単3電池2本を、受信ユニット用には006Pの9Vの電池を使います。単3電池は丈夫な金属ホルダを車体シャーシにねじ止めして固定します。006P電池は単3電池と基板でサンドイッチした状態で十分固定できますが、**タイラップ**か輪ゴムなどで固定してもよいでしょう。あとは基板と電池の間を配線しますが、シャーシの穴を通して配線がぶらつかないようにします。写真5.5.2が車体を組み立てたところです。

写真のように、**モータの端子間に0.001 μFのコンデンサをはんだ付け**しています。これはモータから発生するノイズを抑えるためのもので、PICマイコンがノイズで誤動作するのを防止します。

◆写真5.5.2　車体の外観

5-5-3 無線送受信モジュールと通信データ構成

アドバイス

無線送受信モジュールはオンラインショップのIPI（アイ・ピー・アイ）で入手することができます。

無線送受信の部分には、315MHzという許可不要の微弱電波を使った**無線送受信モジュール**を使います。このモジュールは通信販売等で入手できます。

これをラジコン自動車に利用すれば、簡単な銅線アンテナでも10m程度は届きそうなので室内用に使う分には十分です。また周波数が高いので送受信も安定していて、モータのノイズの影響も少なく安定した送受信ができます。

無線送受信モジュールの仕様は表5.5.2のようになっています。使い方としては、単純に標準のデジタルICレベルのシリアル信号を送信モジュールに入力すれば無

線信号として出力され、受信モジュールから同じシリアルデータがやはり標準デジタルICレベルで出力されるという単純動作です。

参考

ここで紹介する送受信モジュールは組み立て不要の完成品です。

これをラジコン車に組み込んで利用します。

教えて

アンテナの長さは何cmにすればいいの？

〔回答〕

今回使用する送受信機の周波数は315MHzです。

315MHzのときは24cmにします。ちなみに周波数が433MHzなら17cmとなります。

電波の波長（λ）は、光速（c）÷周波数（F）で求められます（光速＝3.0×10^{18}）。また、アンテナの長さは、電波の波長の1/4にしたとき感度がよくなります。

λ〔m〕

＝c〔m/s〕÷F〔Hz〕

・315MHz

$3.0 \times 10^{18} \div 3.15 \times 10^{18} \fallingdotseq 0.95$〔m〕

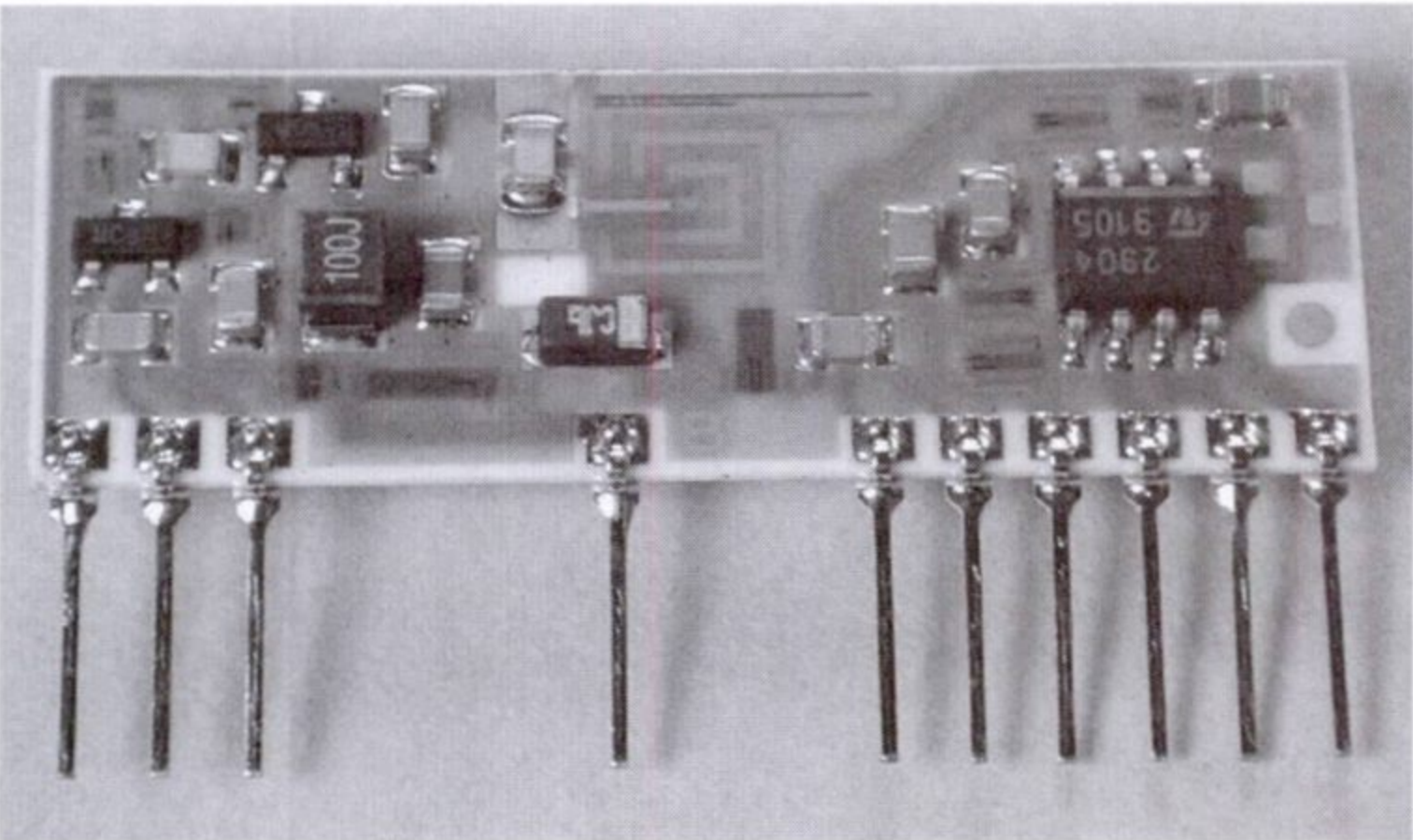
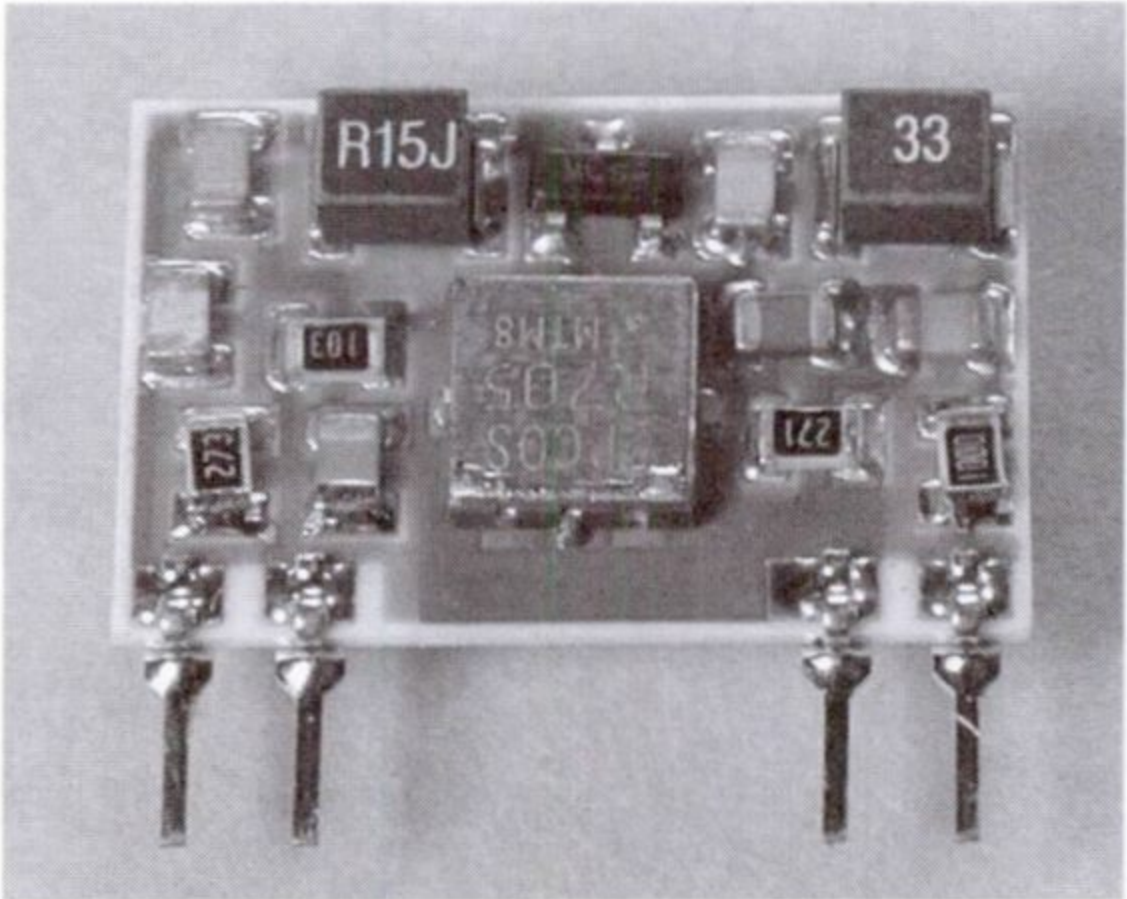
$0.95 \div 4 \fallingdotseq 0.24$

＝24cm

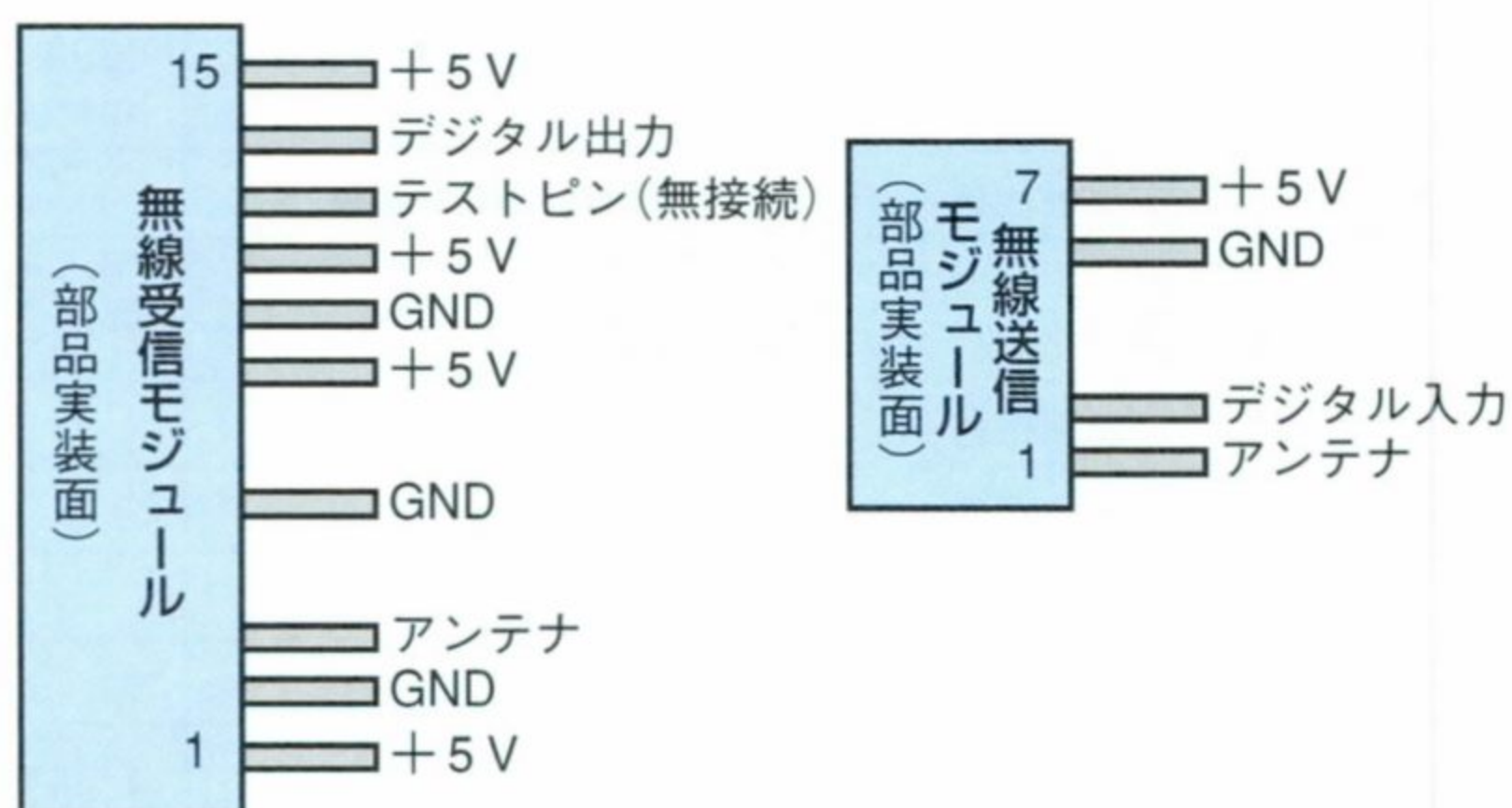
ただし今回のような室内で数m も届けばよい場合は、厳密でなくても十分届きます。

◆表5.5.2　無線送受信モジュールの規格

項目		規格仕様他	備考
	製造メーカ	RF Solution 社	英国
	販売元	アイ・ピー・アイ社	0298-50-3113 http://www.ipic.co.jp/
	電波仕様	315 MHz 帯　微弱電波	
受信モジュール（AM-HRR3-315）			完全無調整で触るところは何もない。
	電源電圧	5 V ± 0.5 V	
	消費電流	最大 3 mA	
	受信周波数	200 ～ 450 MHz	
	受信感度	－ 105 dBm	
	通信速度	最大 3 kHz	3 kbps ということ
	出力信号	TTL レベル（High 3.7 Vtyp）	
	外形寸法	約 38 × 13 × 3 mm	
送信モジュール（AM-RT5-315）			非常に小型にできている。こちらも完全無調整
	電源電圧	2 ～ 14 V	（通常 5 V）
	消費電流	通常 4 mA	
	送信周波数	303.8 ～ 433.92 MHz	
	送信出力	0dBm	（AM 変調方式）
	スプリアス	－ 30 dBc	
	送信速度	最大 4 kHz	4 kbps ということ
	入力信号	TTL レベル（High ＞ 2 V）	
	外形寸法	約 18 × 12 × 3 mm	

写真5.5.3が受信モジュールの外観で、写真5.5.4が送信モジュールの外観です。写真のように調整する部分が何もないのと、非常に小型にできていますので実装も簡単です。

◆写真5.5.3　受信モジュールの外観

◆写真5.5.4　送信モジュールの外観

■無線モジュールの接続

無線モジュールの接続は図5.5.2のようにします。外部端子は少ないので接続に迷うことはないでしょう。この送信モジュールのデジタル入力ピンにシリアル通信の信号を入力すれば、それがそのまま受信モジュールのデジタル出力ピンに出力されるということになります。

◆図5.5.2 無線送受信モジュールの接続

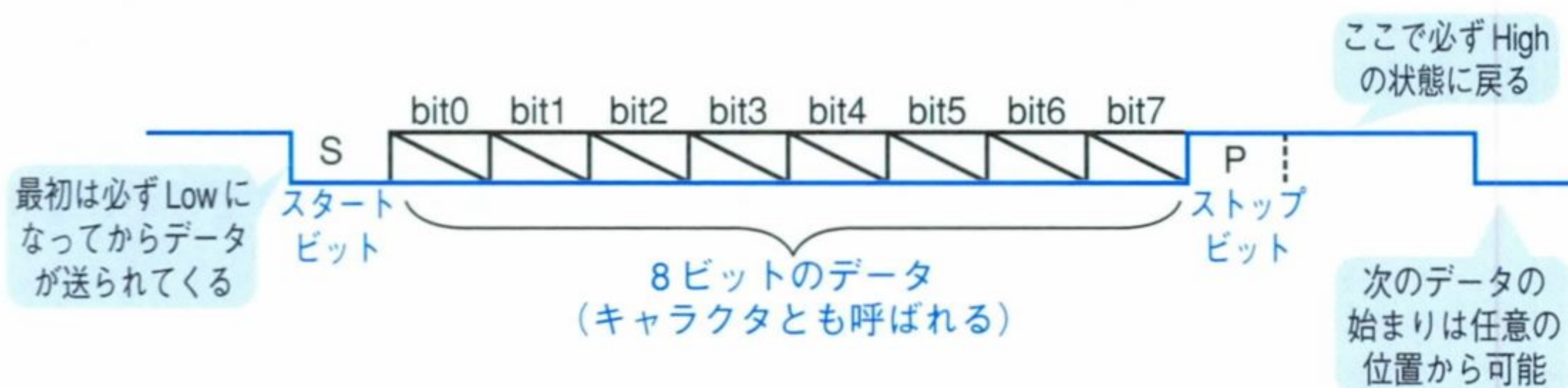
用語解説

・通信データフォーマット
送受信する際に使用するデータの形式。

・USART
同期式と非同期式の送受信機能を持ったモジュール。PICマイコンの内蔵モジュールの一つ。

・調歩同期式
非同期のことで、タイミング用の信号を使わないでデータを送る通信方式。

■通信データフォーマット

通信データとしてUSARTの**調歩同期式**の信号を使います。この方式では8ビットのデータを送るのに、図5.5.3のようにスタートビットとストップビットという各1ビット分のLowの時間を8ビットのデータの前後に追加して送ります。これで信号が送られていないときは必ずHighの状態となっていて、信号の最初はスタートビットで必ず1ビット分だけLowになりますから、このLowになる瞬間を見つければデータの通信が始まることがわかります。この後は1ビット分の時間間隔で順番にデータを取り込めば8ビットのデータが受信できることになります。

◆図5.5.3 調歩同期の場合の信号フォーマット

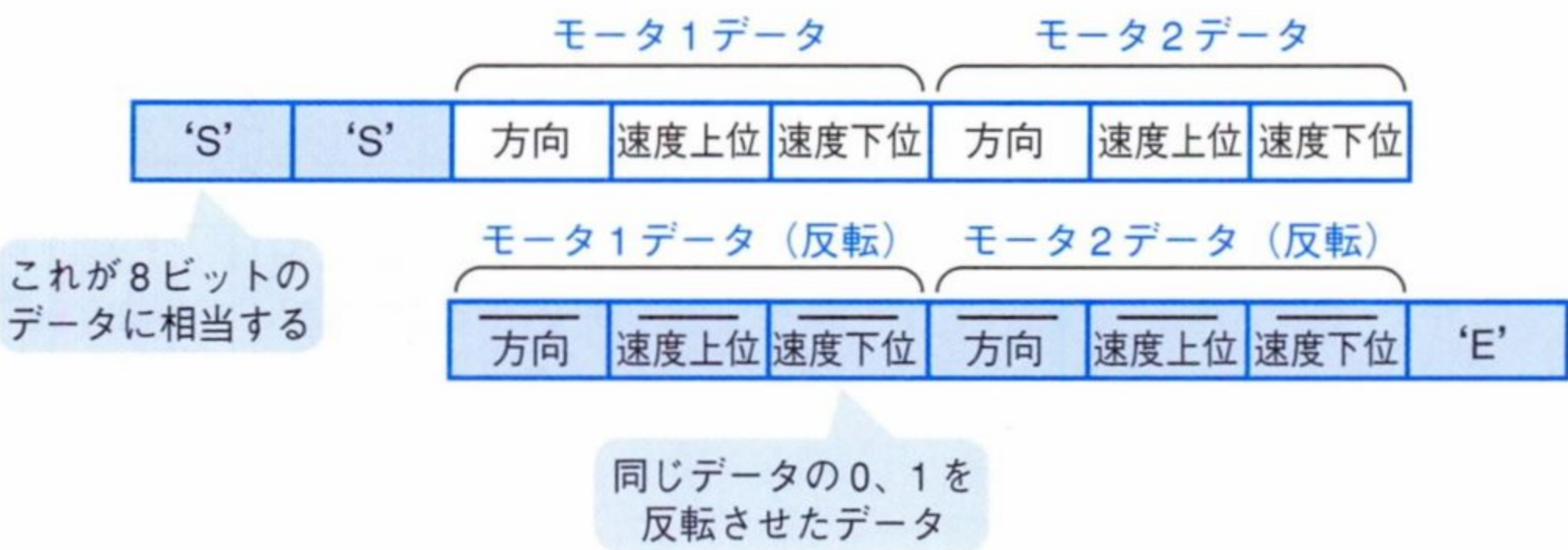
■無線通信の方法

次に無線通信の方法ですが、調歩同期の8ビット（1バイト）のデータを連続させて、図5.5.4の形式で合計15バイトのデータが送信機から送られてくるものとします。

まずデータの開始記号である文字Sを2個受信します。そのあとにモータ1、モータ2の回転方向指定と、そのときのモータ速度値を受信します。この速度値については、バイナリデータそのものではデバッグしにくいので、1バイトのデータを上位4ビットと下位4ビットに分け、それぞれに30Hを加えて数字のASCII文

用語解説

・**デューティ**
一定周期の中でオンにする割合。

・**反転２連送照合方式**
通常のデータを送信した後に、“0”と“1”を反転させたデータを送信し、受信側で全て受信したあと、元のデータと反転データを反転させたものが一致するかを判定する方式。

◆図5.5.4　通信データの構成

字コードに変換しています。この2バイトを受信して8ビットのバイナリ値に戻してから、モータのPWMのデューティ値として使います。

これに続いて同じデータの“0”と“1”を反転させたデータを追加して受信し、最後に終わりのマークとして文字Eの受信をします。

文字Eを受信したら、前半の受信データが、後半の反転されたデータを反転させたものと一致するかどうかで、受信したデータに誤りがないかどうかを判定しています。このような誤りチェック方法を**反転2連送照合**と呼んでいます。この誤りチェックを行うことで、誤ったデータにより受信側が誤動作するのを防ぐことができます。以上で通信データの構成が決まりました。

5-5-4　受信ユニットの回路

ラジコン車に搭載する受信ユニットの回路は図5.5.5のようになります。モータと電池部を除いた部分が受信ユニット部で、プリント基板に実装されます。

アドバイス

センススイッチは今回は使っていませんので省略してもかまいません。またセンサを接続するためのコネクタを用意しましたが、やはり使っていませんので省略可能です。

・受信ユニットとその周辺

受信ユニットは、PICマイコンのPIC16F876Aを中心に構成し、無線受信モジュールで受けたデータをPICマイコン内蔵のシリアル通信機能のUSARTで受信することとします。データ受信確認と通信エラー表示用に発光ダイオードをPICマイコンに直接接続しています。センススイッチがPICマイコンに接続されていますが、今回は使っていません。

用語解説

・**USART**
シリアル通信を行うためのハードウェアモジュール。高速のシリアル通信ができる。

・**CCPモジュール**
キャプチャ／コンペア／PWMモジュール。

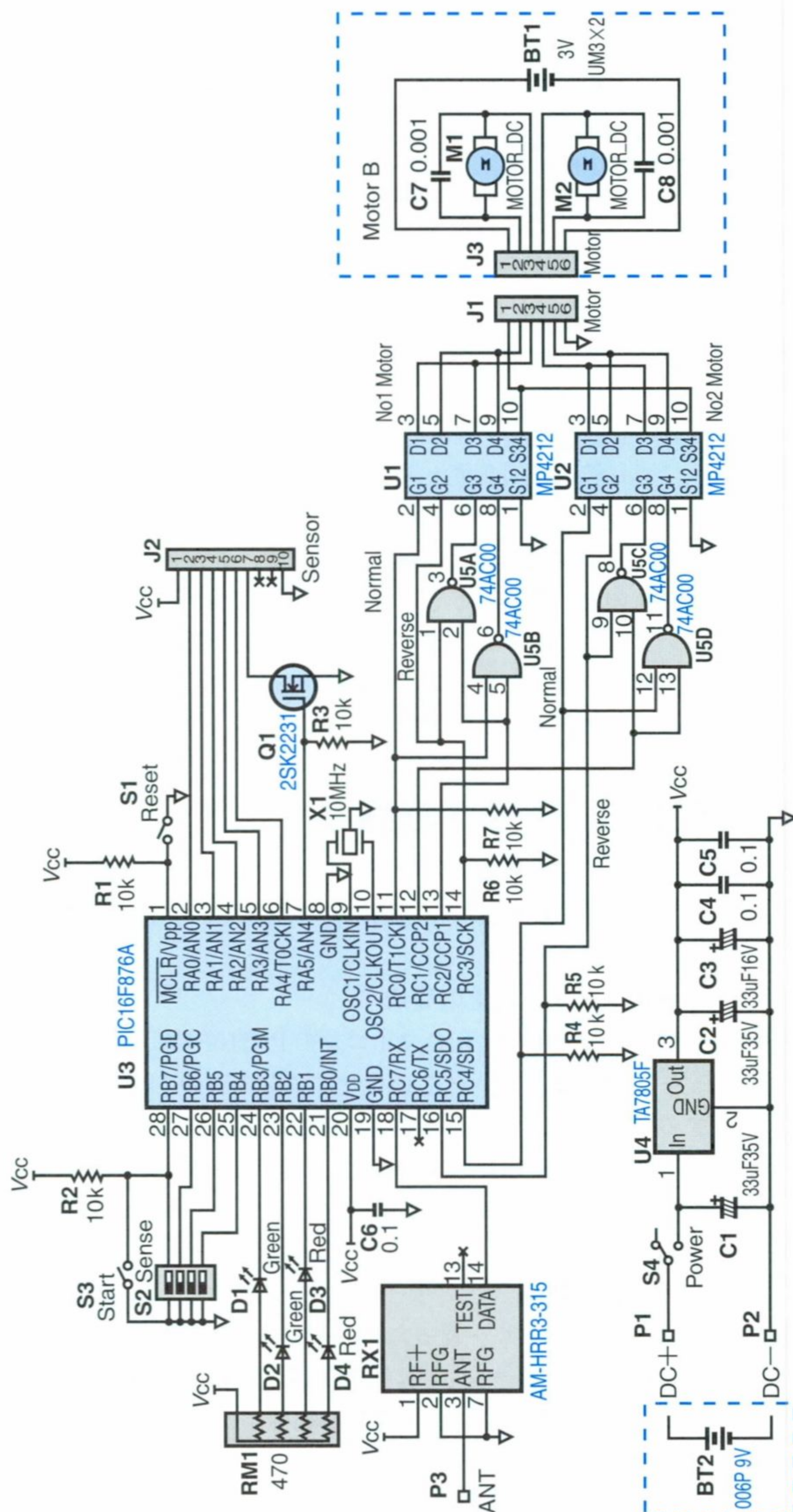
参照

MOSFET → p.74

・モータの制御

CCPモジュールを使った**PWM制御**で行います。2チャネルあるPICマイコン内蔵CCPモジュールをパルス幅制御（PWM）モードとして、2個のモータをそれぞれ独立に可変速、正転／逆転の制御ができるようにしています。

・モータのドライブ

MOSFETアレイICによるHブリッジで構成してモータの制御を効率よくできるようにします。さらにこのHブリッジには、正転／逆転切り替えのためNANDのデジタルICを1個使用しています。これでモータの正転と逆転を瞬時に切り替えることができますし、MOSFETの両方を同時にオンにして電源をショートしてしまう問題もなくすことができます。

◆図5.5.5　受信ユニット回路図

アドバイス

NANDゲート：デジタルIC（74AC00）。

・モータ用の電源

独立にして、外部から供給することとしています。NANDゲートの出力でP型MOSFETの制御をしていますので、NANDゲートの出力は5V以上にはできませ

んから、結局モータ用の電源としては、5V以上にはできません。

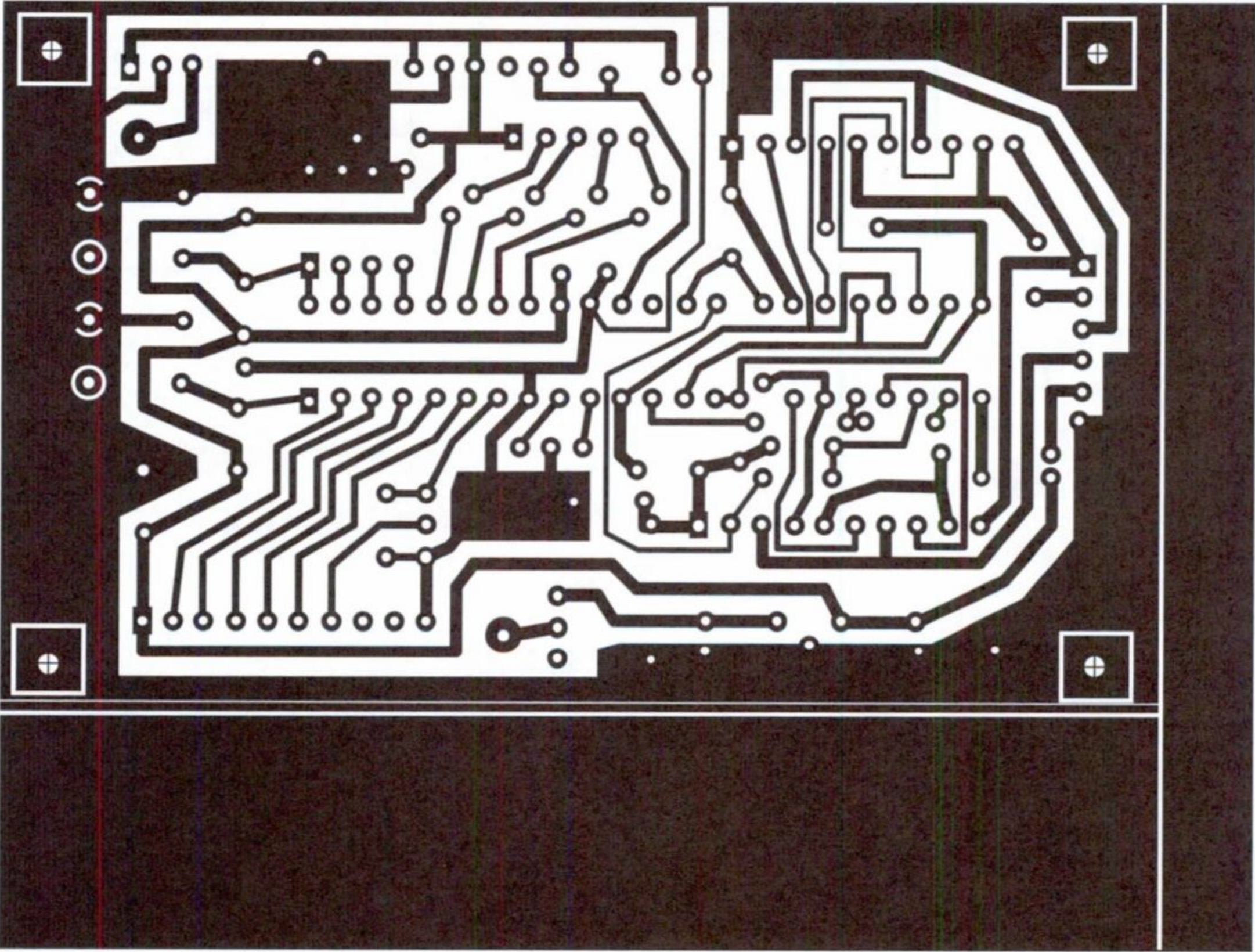
5-5-5 受信ユニットのパターン図

用語解説

・ユニバーサル基板
一定間隔に部品を差し込む穴が開けられた基板。

教えて

どうして、使わない余白をベタパターンにするのですか？
〔回答〕
こうすることで、エッチング液の劣化を少なくできます。

回路図から基板のパターン図を作成します。プリント基板は自作の片面基板ですが、それほど混んだ配線ではないので、ユニバーサル基板でも組み立ては可能です。作成したパターン図が図5.5.6となります。下側と右側の余白部はエッチング不要ですからベタパターンで塗りつぶしています。

◆図5.5.6　受信ユニットのパターン図

5-5-6 組み立てに必要な部品

アドバイス

回路図（図5.5.5）のQ1、J2、R3、S3は、拡張用の部品です。ラジコン車として楽しむのであれば、取り付けなくてもかまいません。

受信ユニットの組み立てに必要な部品は表5.5.3のようになります。部品点数は少ないので実装はさほど難しくはありません。モータとの接続はコネクタ接続として取り外しが簡単にできるようにします。またアンテナは太さ2mmの錫（すず）メッキ線を15cm～24cm程度の長さにしたものをシャーシのピンに直接はんだ付けで接続することにしました。

◆表5.5.3　受信ユニット基板パーツ一覧

名称	品名	型名・仕様	数量
U1,U2	MOSFET アレイ IC	MP4212	2
U3	PIC マイコン	PIC16F876A-20-I/SP	1
U4	3端子レギュレータ	TA7805F	1
U5	IC（NAND ゲート）	74AC00	1
RX1	無線受信モジュール	AM-HRR3-315（アイピーアイ社）	1
D3,D4	発光ダイオード	TLR113 赤	2
D1,D2	発光ダイオード	TLG113 緑	2

Q1	MOSFET	2SK2231	1
X1	セラミック振動子	10 MHz 3端子型	1
C1,2	電解コンデンサ	33 μF 35V	2
C3	電解コンデンサ	33 μF 16V	1
C4,5,6	積層セラミックコンデンサ	0.1 μF	3
RM1	抵抗アレイ	470 Ω 4素子	1
R1-7	抵抗	10 kΩ 1/4W	7
S1,S3	スイッチ	基板用小型プッシュスイッチ	2
S2	DIP スイッチ	4 P DIP スイッチ	1
S4	スイッチ	小型スライドスイッチ	1
J1	モレックスコネクタ	6 ピンコネクタ、ソケット	1
J2	モレックスコネクタ	10 ピンコネクタ、ソケット	1
	基板	感光基板 10K	1
	IC ソケット	28 ピンスリム IC ソケット	1
	IC ソケット	14 ピン IC ソケット	1
	その他小物	カラー、ねじ、テストピン等	1

5-5-7 組み立て

注意

極性のある部品は、向きに注意して取り付けること。

ジャンパ線で接続する箇所があるので、写真を見ながらジャンパ接続する。

アドバイス

アンテナは、端子を基板にはんだ付けし、この端子にハンダで固定します。

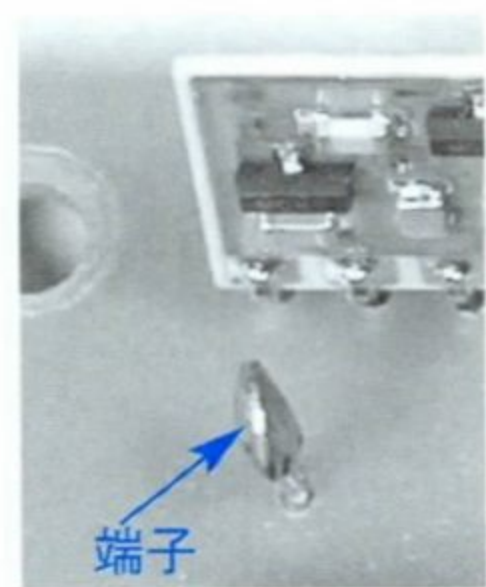
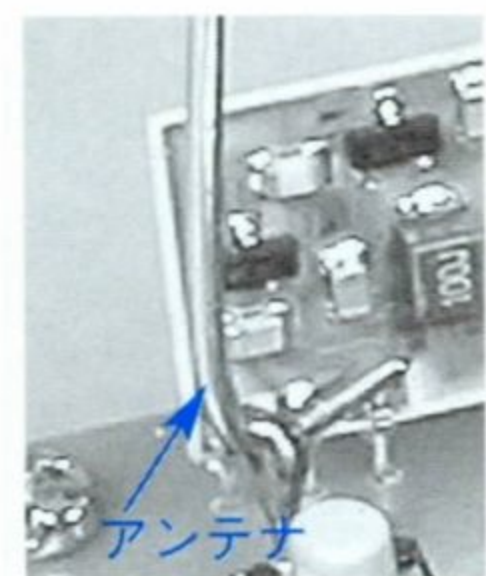
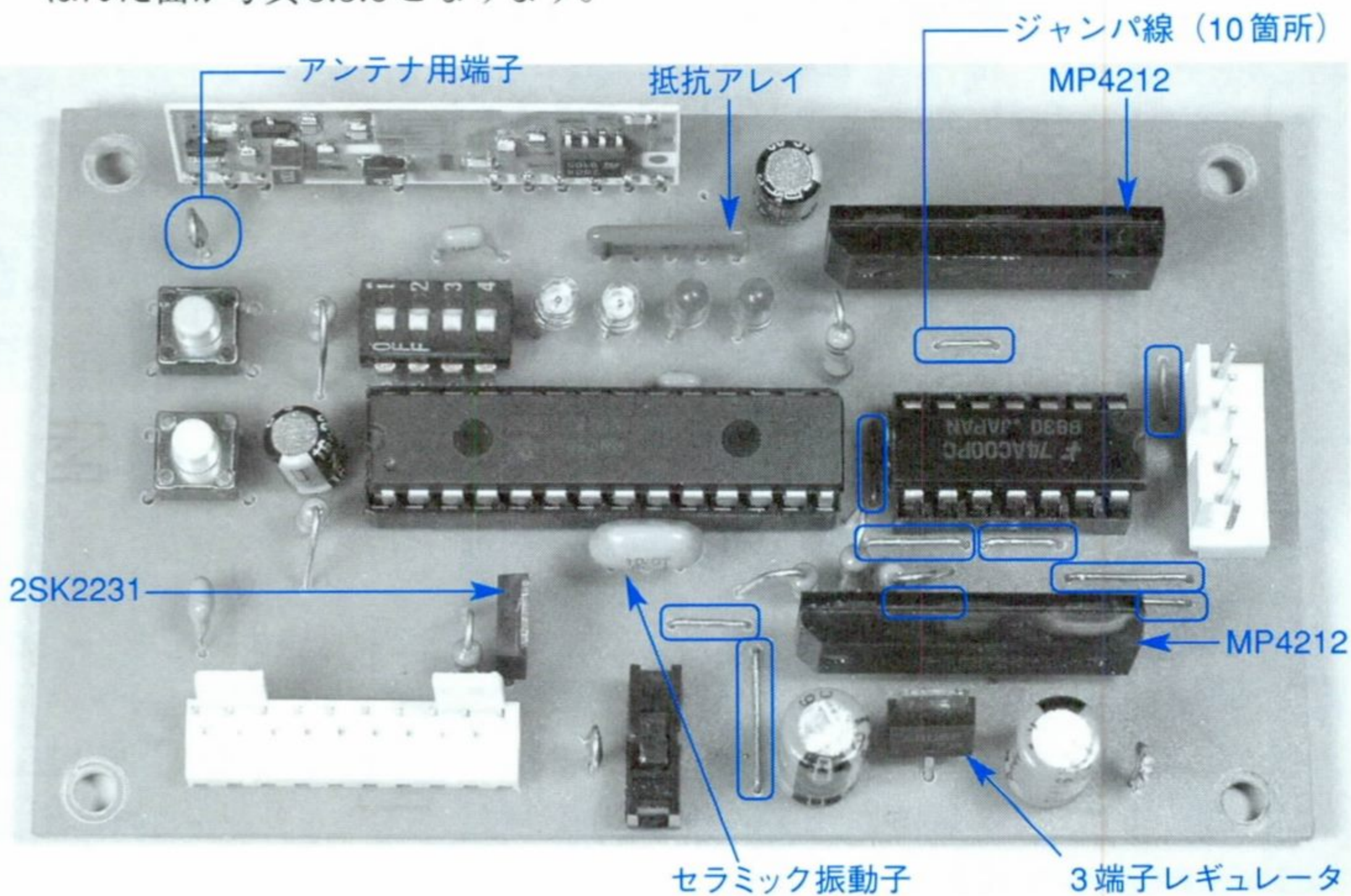



写真5.5.5が、受信ユニット基板の組み立て完成状態のものです。無線受信モジュールは高価なパーツですから最後に取り付けるようにします。

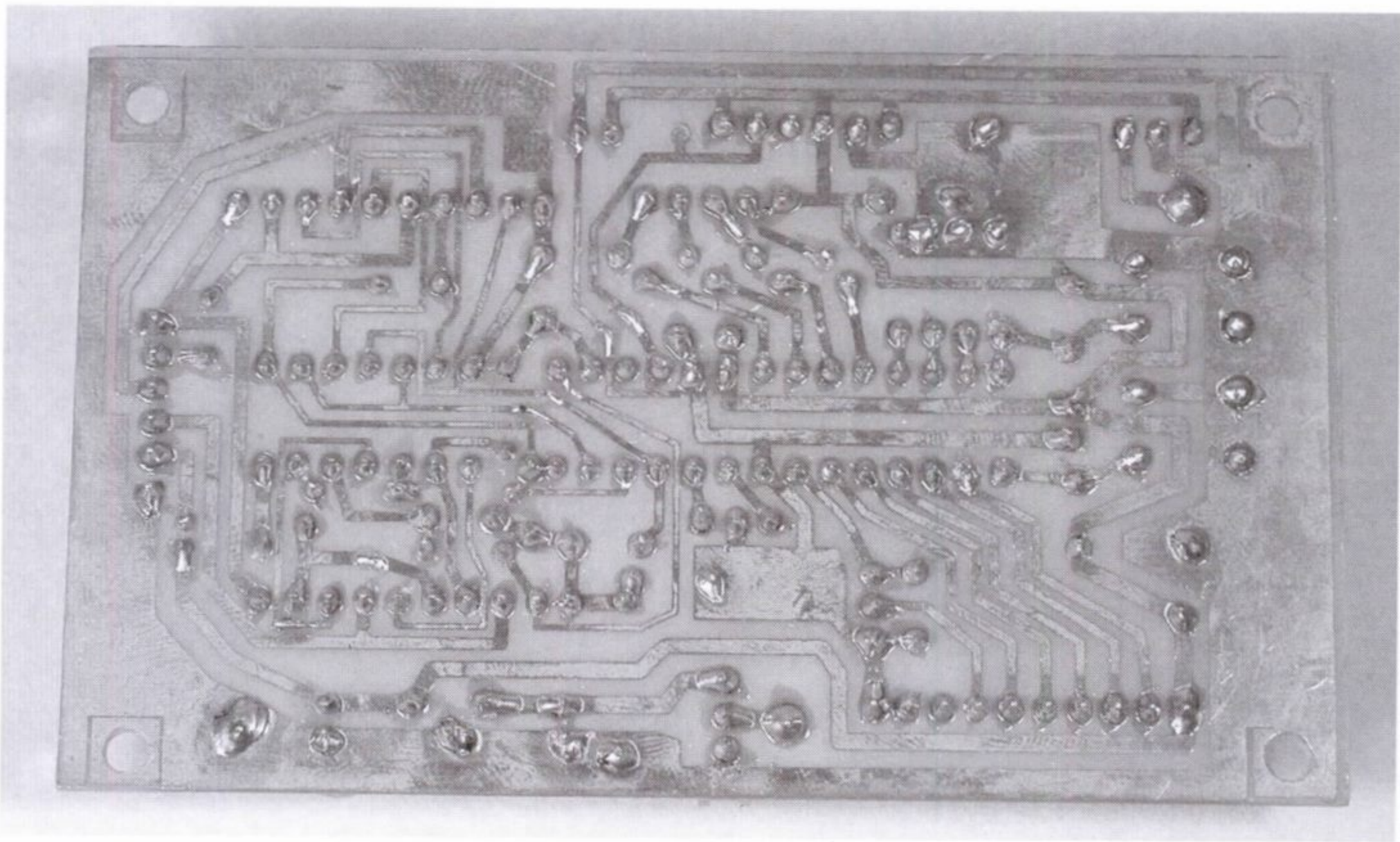
はんだ面が写真5.5.6となります。

◆写真5.5.5 受信ユニット組み立て完成

受信ユニットが完成したら、シャーシに取り付けます。シャーシのプレートにあいている穴と受信ユニットの固定用の穴位置は合うようにしています。穴位置を合わせ、間にカラースペーサを挟んで、基板下側にスペースをあけて（はんだ面を浮かすようにして）ねじで固定します。

アドバイス

部品の取り付け、はんだ付けが終了したら、ミスがないかチェックしてください。

アドバイス

スペーサを間に入れます。

◆写真 5.5.6 はんだ面

5-5-8 受信ユニットのプログラム

アドバイス

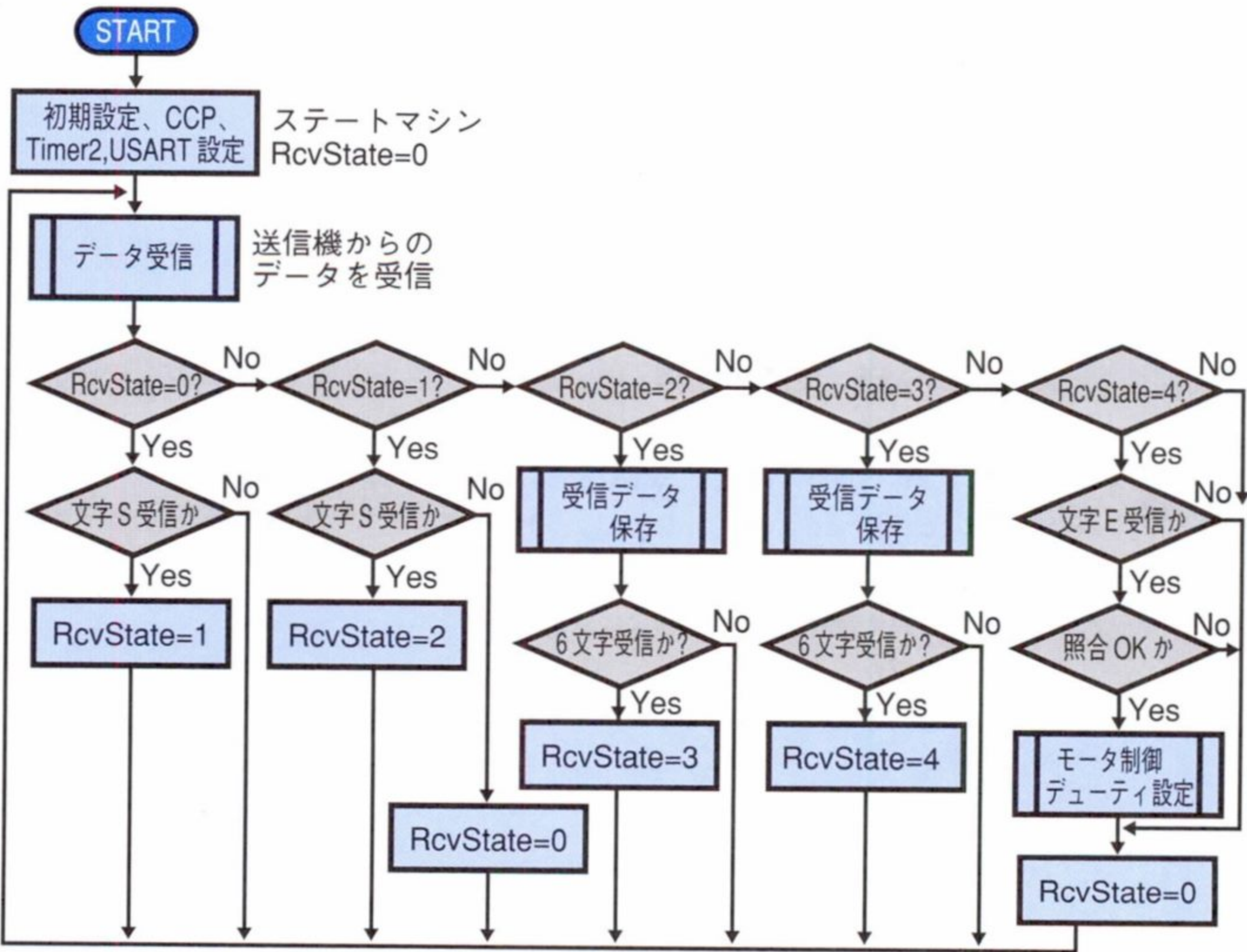
PIC が登場したことで、いきなりハードルが高くなってしまったと感じた方もいると思いますが、電子工作の幅を広げるためにもぜひ PIC にチャレンジされることお勧めします。

PIC マイコンには、無線通信からモータを制御する PWM 制御の機能がたった 1 個のマイコンの中に入っているのです。こう考えるとこれを使わない手はありません。また学習しておいて損はないはずです。本書では PIC マイコンに関して詳しい解説はできませんが、ぜひ関連書籍を読んでチャレンジしてください。

受信ユニットのプログラムはC言語で記述しています。PICマイコン内蔵のUSARTやCCPモジュールを使っていますので、簡単に高機能なPWM制御を実現できます。

■プログラムの全体フロー

受信ユニットのプログラムの全体フローは、図5.5.7のようになります。

START
初期設定、CCP、Timer2,USART 設定
ステートマシン RcvState=0
データ受信
送信機からのデータを受信
RcvState=0?
RcvState=1?
RcvState=2?
RcvState=3?
RcvState=4?
文字 S 受信か
文字 S 受信か
受信データ保存
受信データ保存
文字 E 受信か
RcvState=1
RcvState=2
6 文字受信か?
6 文字受信か?
照合 OK か
RcvState=3
RcvState=4
モータ制御デューティ設定
RcvState=0
RcvState=0
Yes
No

◆図 5.5.7 受信ユニットプログラムフロー

用語解説

・ステートマシン
どの段階にあるかを表すステート変数を用意して、値を順番に＋1することでどの段階かを区別する。

・変数
データの入れ物であって、中身の値はプログラムの実行にともなって変化する。

・デューティ
一定周期の中でオンにする割合。

アドバイス

プログラムは、PICマイコンに書き込んで利用します。PICマイコンへの書き込み方法は本書では解説しておりません。PIC関連書籍をご覧ください。

なお、ここで紹介したプログラムは、技術評論社のホームページ（「電子工作の素」→補足情報）または筆者のホームページからダウンロードできます。

受信ユニットは全体が**ステートマシン**という構成になっていて、RcvStateという変数がステータスのシーケンスの順序を示す変数となっています。

まず、RcvStateが“0”から始まり、送信機からの通信データを受信して、文字Sならステートを＋1して次に進みます。次のデータ受信ではRcvStateが“1”ですから、再度文字Sをチェックすることになり、文字SであればRcvState = 2となります。あとは順次受信したデータをバッファに格納します。最後に文字「E」を受信したら、そこで受信完了ということで、緑の発光ダイオードを反転制御してから、バッファ内のデータの照合チェックを行います。照合が一致したらはじめてモータ制御用にデューティ値を求めて設定制御します。制御したらすぐRcvStateを“0”に戻し、最初の受信から繰り返します。

照合が不一致の場合には、赤色の発光ダイオードを点灯させて、RcvStateを“0”にクリアしてリセットし、最初の受信からやり直します。

このフローに従った、プログラムのリストが、リスト5.5.1(a)から(c)となります。

■プログラム：宣言部

リスト5.5.1(a)は宣言部と初期設定部でコンフィギュレーションの設定とユーザ変数の宣言定義をしています。初期設定では各モジュールの初期設定と変数の初期化を行っています。

リスト5.5.1(a)　宣言部と初期設定部

```
/********************************************************
*  ラジコンロボット受信ユニットプログラム
*   無線のデータをUSARTで取り込み、2個のDCモータを2つのPWMで制御
********************************************************/
#include <16F876A.h>
#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,PUT,BROWNOUT,NODEBUG,NOLVP
/// USART初期設定
#use delay(CLOCK = 10000000)
#use rs232(BAUD = 2400, XMIT = PIN_C6, RCV = PIN_C7, ERRORS)
//// 変数定義
#byte   PORTA = 5
#byte   PORTB = 6
#byte   PORTC = 7
charRcvData, RcvBuf1[10], RcvBuf2[10];
unsigned int    RcvState, RcvCount, ErrFlag;
unsigned long   Duty1, Duty2;
/// プロトタイピング
void MotorCnt(void);
//// メイン関数
void main(void)
{
    int i;
    //// ポート初期設定
    setup_adc_ports(NO_ANALOGS);        // 全ピンデジタルモード
    set_tris_c(0x80);                   // ポートCはUSART受信以外全て出力
    set_tris_b(0xF0);                   // ポートB上位入力下位出力
```

コンフィギュレーションの設定

USARTの設定

ユーザ変数の宣言定義

入出力ポートの設定

CCPモジュール、タイマ2の初期設定

ポートと変数の初期化

```
    set_tris_a(0);                         // ポートA全て出力（未使用）
    port_b_pullups(TRUE);                  // ポートBのプルアップオン
    portb = 0x0f;                          // 全LED消去
    /// CCPの初期設定
    setup_ccp1(CCP_PWM);                   // CCP1,CCP2をPWMモードに
    setup_ccp2(CCP_PWM);
    /// タイマ2の設定
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,0xFF,1);     // 10ビット分解能
    set_pwm1_duty(0);                      // 停止
    set_pwm2_duty(0);
    /// ブリッジ設定　停止
    portc = 0;                             // 全LED消灯
    output_low(PIN_B3);                    // スタートLED点灯
    RcvState = 0;                          // ステート初期化
    RcvCount = 0;                          // 受信カウンタ初期化
```

■プログラム：メインループ部

リスト5.5.1(b)がメインループ部で、ステートマシンを実行して受信データを順番にメモリに格納し、受信完了したら誤りチェックをしてからモータ制御を実行しています。

リスト5.5.1(b) メインループ部

1文字受信

ステート0
文字S受信で
ステート1へ

ステート1
文字S受信で
ステート2へ

ステート2
6文字受信保存後
ステート3へ

ステート3
6文字受信保存後
ステート4へ

```
///// メインループ
    while(1)
    {
        RcvData = getc();                      // データ受信
        switch(RcvState)                       // ステートで分岐
        {
            case 0: if(RcvData == 'S')         // 初期ステート S受信で＋1
                        RcvState = 1;
                    break;
            case 1: if(RcvData == 'S')         // 次のS受信で＋1
                        RcvState = 2;
                    else
                        RcvState = 0;          // 異なれば初期ステートへ戻る
                    break;
            case 2: RcvBuf1[RcvCount] = RcvData;        // データ受信ステート
                    RcvCount++;                // 受信カウンタ更新
                    if(RcvCount >= 6){
                        RcvCount = 0;          // 受信カウンタクリア
                        RcvState = 3;          // 6バイト受信でステート＋1
                    }
                    break;
            case 3: RCVBuf2[RcvCount] = ~RcvData;// 反転データ受信。反転して格納
                    RcvCount++;                // 受信カウンタ更新
                    if(RcvCount >= 6){
```

```
                RcvCount = 0;                   // 受信カウンタクリア
                RcvState = 4;                   // ステート+1
            }
            break;
    case 4: if(RcvData == 'E')                  // 終了E受信か
            {
                ErrFlag = 0;                    // 照合チェック
                for(i=0; i<6; i++) {
                    if(RcvBuf1[i] != RcvBuf2[i])
                        ErrFlag = 1;
                }
                if(ErrFlag == 0)                // 照合OKか?
                {
                    // 照合OK　モータ制御
                    output_toggle(PIN_B2);      // 緑LED点滅
                    output_high(PIN_B0);
                    MotorCnt();                 // モータ制御実行
                }
                else
                    output_low(PIN_B0);         // エラー時赤色LED点灯
            }
            RcvState = 0;                       // ステート初期状態へ戻る
            break;
    default:RcvState = 0;
            break;
        }
    }
}
```

ステート4 文字E受信でデータ処理実行

照合チェックOKでモータ制御実行

照合チェックNGで赤色LED点灯

ステートを0に戻す

■プログラム：モータ制御のサブ関数

リスト5.5.1(c)はモータ制御のサブ関数で受信データをデューティ値に変換し、実際にモータのデューティ制御をします。

リスト5.5.1(c)　モータ制御サブ関数

```
/****************************************
* モータ制御サブ関数
****************************************/
void MotorCnt(void)
{
    /// モータ1の制御
    if(RcvBuf1[0] == '0'){
        output_low(PIN_C3);             // 正転の制御
        output_high(PIN_C0);
    }
    else {
        output_high(PIN_C3);            // 逆転の制御
```

モータ1の方向判定し正転、逆転の制御

速度データ1の上位4ビット＋下位4ビットで8ビットに変換しDuty1にセット

モータ2の方向判定し正転、逆転の制御

速度データ2の上位4ビット＋下位4ビットで8ビットに変換しDuty2にセット

```
        output_low(PIN_C0);
    }
    /// モータ1速度設定　8ビットを10ビットに変換
    Duty1 = ((RcvBuf1[1] & 0x0F) << 4) + (RcvBuf1[2] & 0x0F);
    set_pwm1_duty(Duty1 << 2);
    /// モータ2の制御
    if(RcvBuf1[3] == '0'){
        output_low(PIN_C5);          // 正転制御
        output_high(PIN_C4);
    }
    else {
        output_high(PIN_C5);         // 逆転制御
        output_low(PIN_C4);
    }
    /// モータ2速度設定
    Duty2 = ((RcvBuf1[4] & 0x0F) << 4) + (RcvBuf1[5] & 0x0F);
    set_pwm2_duty(Duty2 << 2);
}
```

以上で受信ユニットのプログラムも完成しますから、これをPICマイコンに書き込んで完成となります。

5-5-9 動作テストと調整

動作テストは無線通信の部分は送信機ができてからでないとできませんから、後回しにします。

・電源電圧の確認

まずPICマイコンを実装しない状態で電源をオンとし、テスタで電源電圧が5Vであることを確認します。

・発光ダイオードのテスト

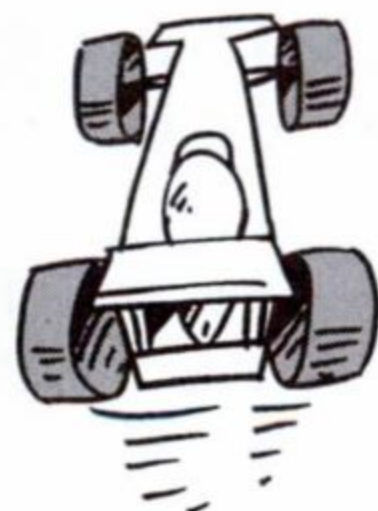
ICソケットの発光ダイオード接続ピンを仮にグランドに接続すれば、対応する発光ダイオードが点灯するはずです。

・スイッチのテスト

参照
DMM → p.251

テスタ（DMM）でPICマイコンのソケットの対応するピンの電圧を測定し、常時は5Vでスイッチを押している間は0Vになれば正常に動作しています。

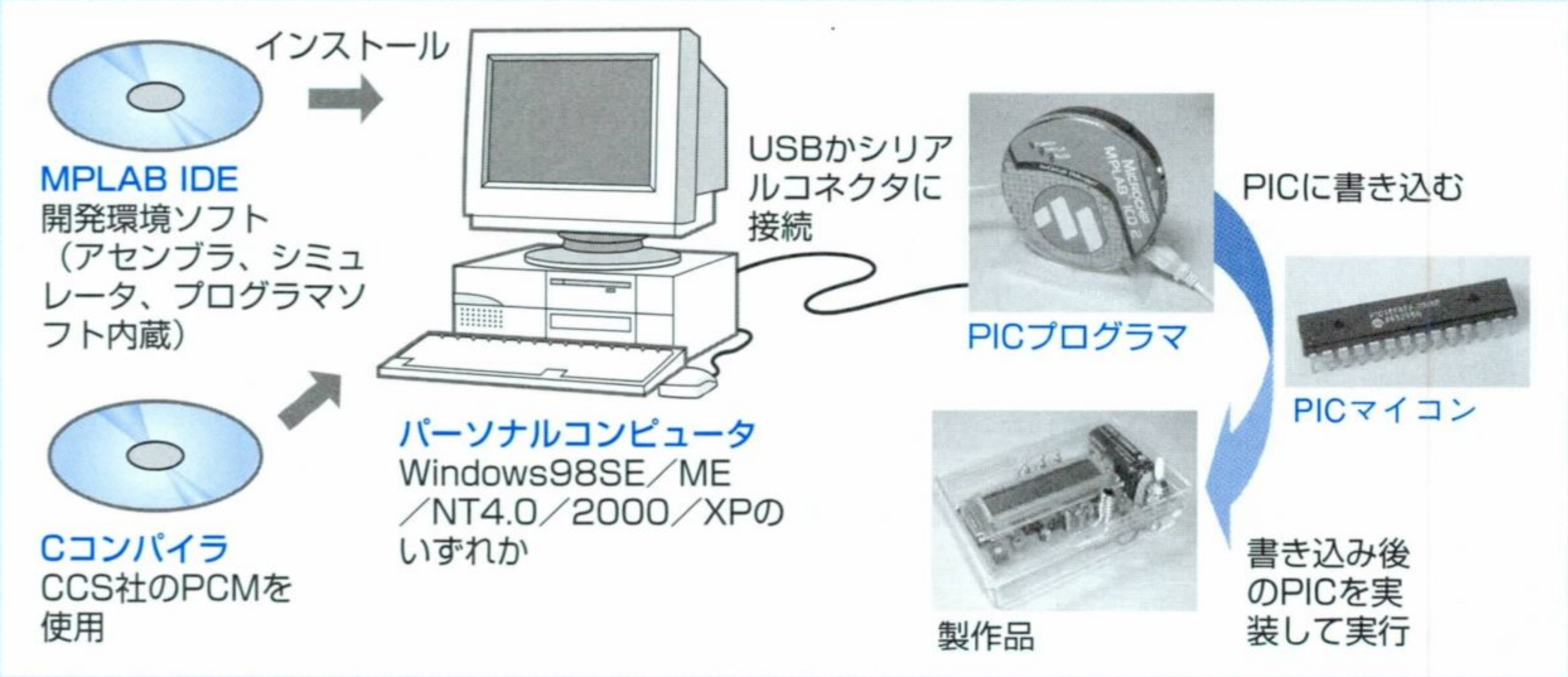
・モータの単体テスト

モータのコネクタを接続し、モータ用の電池も実装します。74AC00のICも実装します。この状態で電源をオンとしPICマイコンのソケットのピンを、仮に電源に接続してモータの回転を確認しますが、表5.5.4のように接続し回転を確認します。

◆表5.5.4 モータの回転テスト方法

電源に仮接続するピン（○印）						モータの回転
RC0	RC1	RC2	RC3	RC4	RC5	
○		○				モータ1　正回転
		○	○			モータ1　逆回転
	○			○		モータ2　正回転
	○				○	モータ2　逆回転

これで基本的な動作は確認できますので、あとはPICマイコンのプログラムと無線通信の動作テストが残るだけとなります。次は送信機の製作をしましょう。

COLUMN　PICのプログラムの作成

PICマイコンのプログラムの作成は「開発環境を揃え → プログラミング → PICマイコンに書き込む」という手順になります。詳しくは関連書籍をご覧ください。

◆図1

・MPLAB IDE

PICマイコンのプログラムの作成作業のほとんどは「MPLAB IDE」という統合開発環境のもとで行うことになります。このMPLAB IDEは米国マイクロチップテクノロジー社が開発し、無料で公開している開発用ソフトウェアで、自由にダウンロードして使うことができます。

・Cコンパイラ

プログラミングにはCコンパイラが必要です。Cコンパイラとは、C言語で書いたプログラムをコンピュータが理解し、実行できる機械語に変換するソフトのことです（ちなみに筆者はCCS社の「PCM」をよく利用しています）。

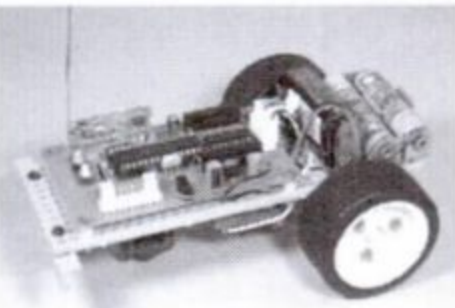
■プログラミング

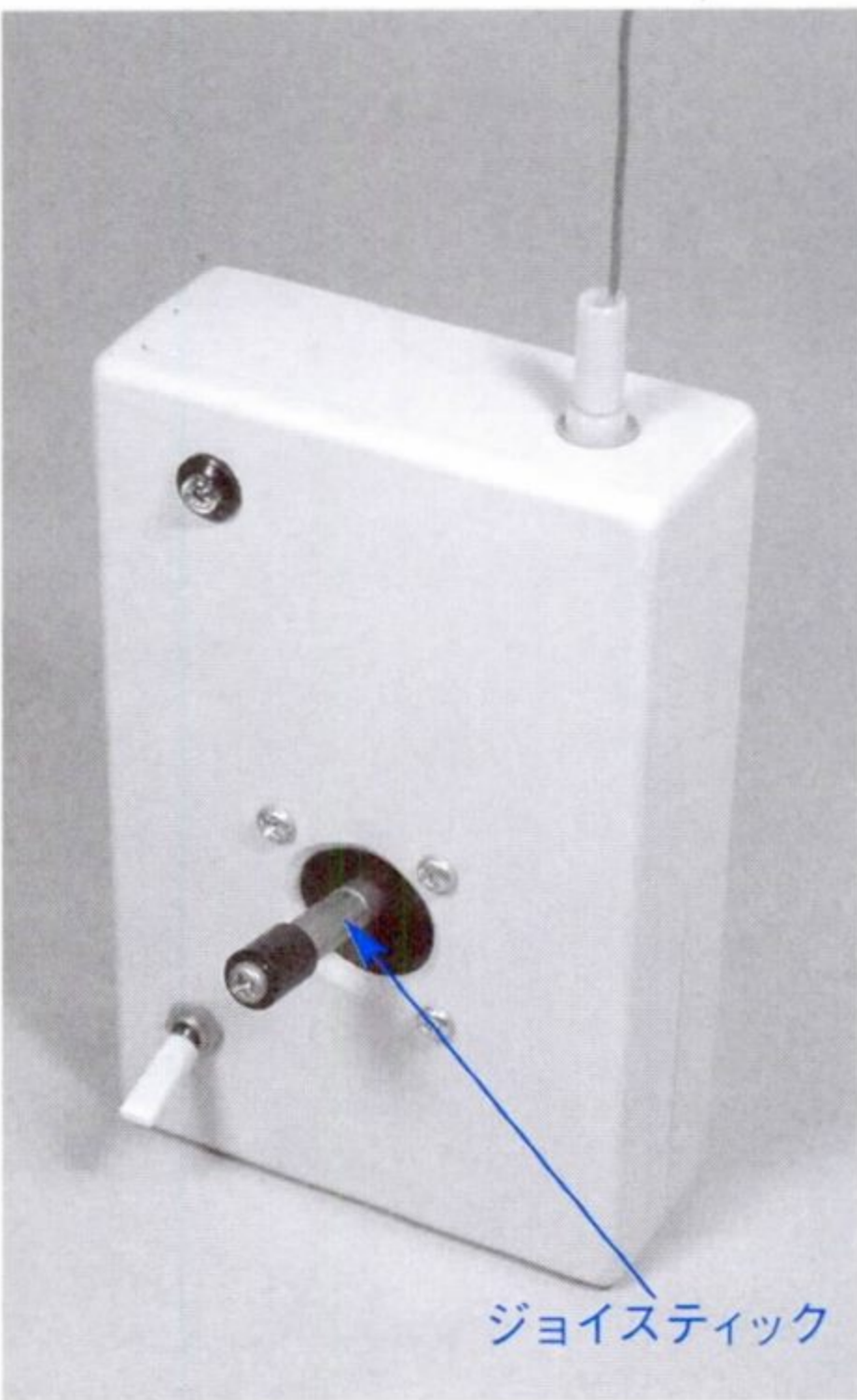
初心者にとってプログラミングは難関です。とはいえ、自在にプログラミングできるようになると、格段に電子工作が楽しいものに変身してくれます。ぜひPICマイコンにチャレンジしてください。まずは毛嫌いせず、試してみることです。その際オリジナルのプログラムから挑戦するのではなく、先人のテクニックを真似て覚えていくという方法が近道だと思います。

なお、プログラミングに関しては、拙著「C言語によるPICプログラミング入門」に詳しく解説してありますので、ぜひご覧ください。何か簡単なものからチャレンジしたい方は「8ピンPICマイコンではじめる 作る、できる 電子工作 入門、技術評論社」をお勧めします。

5-6 ラジコン送信機

アドバイス

5-5の「ラジコン車」を操縦するための送信機を製作します。

ラジコン車ができましたから次は無線送信機の製作です。ちょっと格好をつけて**ジョイスティック**で車の制御を行うラジコン送信機を作ってみましょう。操縦する相手は前章で製作したラジコン車です。

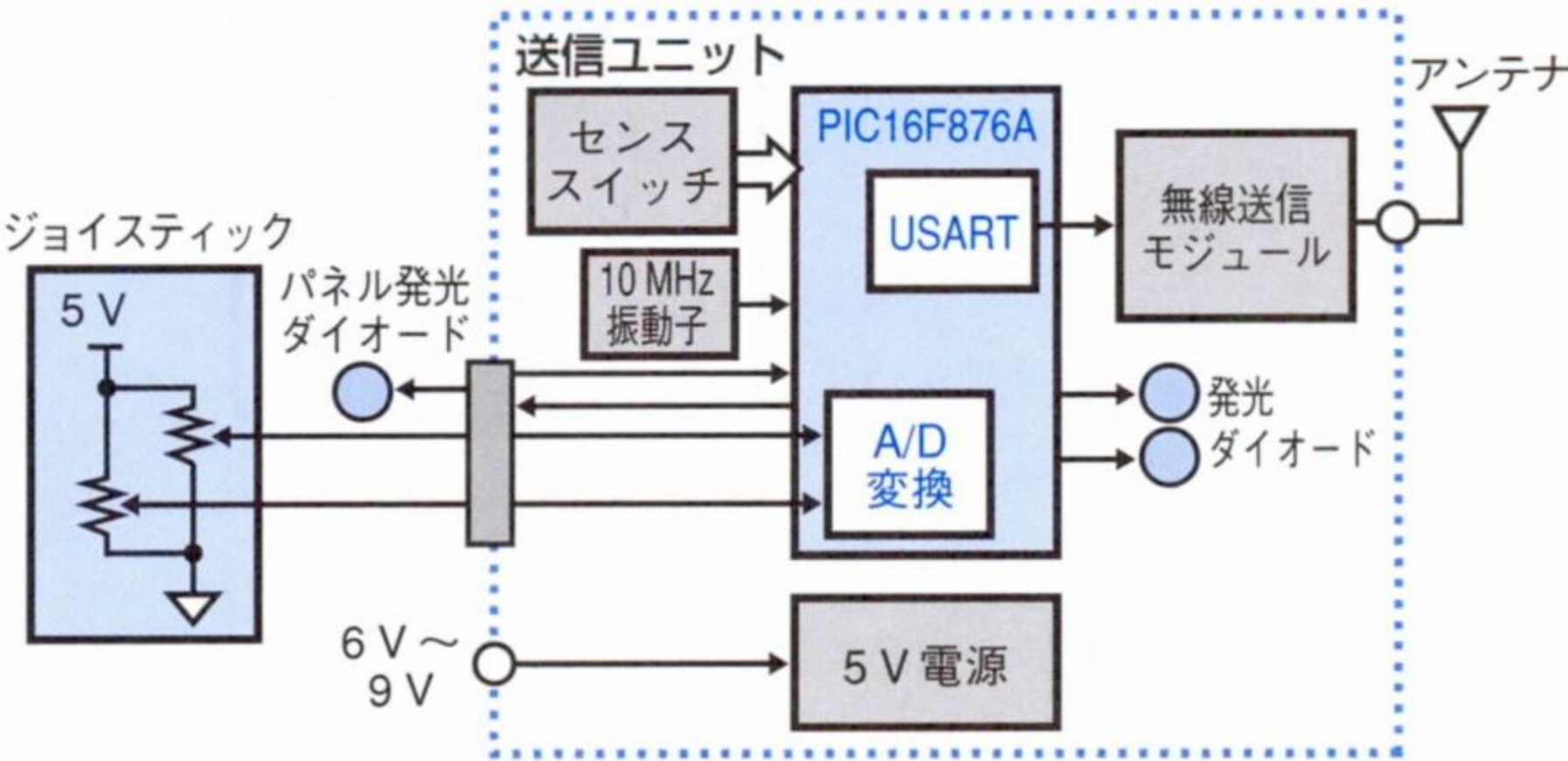
ラジコン送信機の外観が写真5.6.1となります。特徴は、写真のように操作部が、1個のジョイスティックだけでできていることです。ジョイスティックは2つの要素を持っていて、速度制御と旋回制御の2要素の制御を1つで行います。

◆写真5.6.1　送信機の外観

5-6-1 ラジコン送信機の構成

ジョイスティックを使ったラジコン送信機の内部構成は、図5.6.1のようになっています。図のように、送信ユニットとジョイスティックで大部分が構成されていて、PICマイコン内蔵の**A/D変換モジュール**と**USARTモジュール**を使っています。

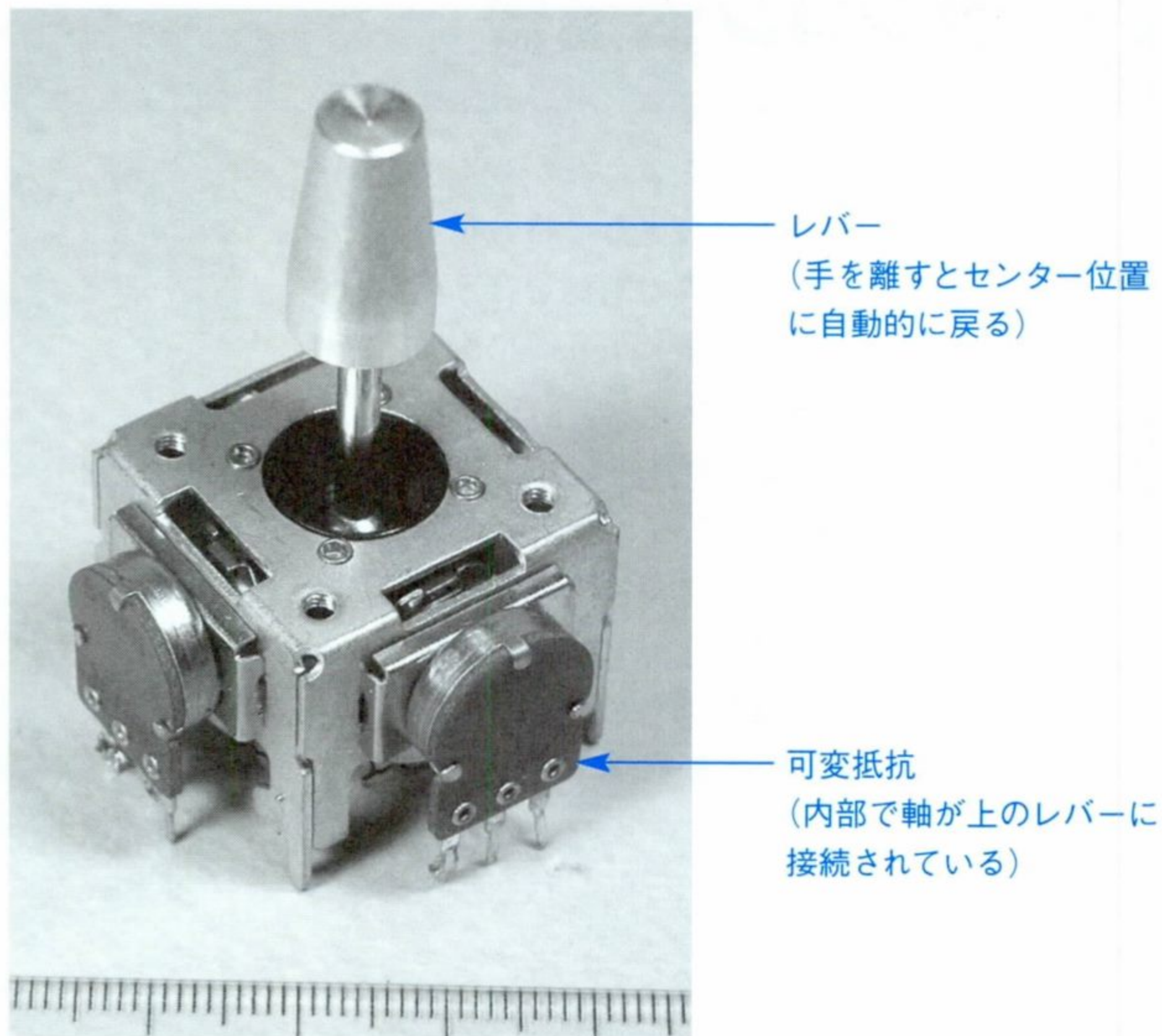
用語解説

・**A/D変換モジュール**
A/D変換とは、アナログ／デジタル変換のこと。アナログ信号の電圧をデジタルの数値に変換する周辺モジュール。

・**USARTモジュール**
同期式と非同期式の送受信機能を持ったモジュール。

◆図5.6.1　送信機の構成

5-6-2 ジョイスティックの使い方

ジョイスティックは、ゲームなどでよく使われているレバーによる操作器で、写

真5.6.2のような外観をしています。

◆写真5.6.2 ジョイスティックの外観

教えて

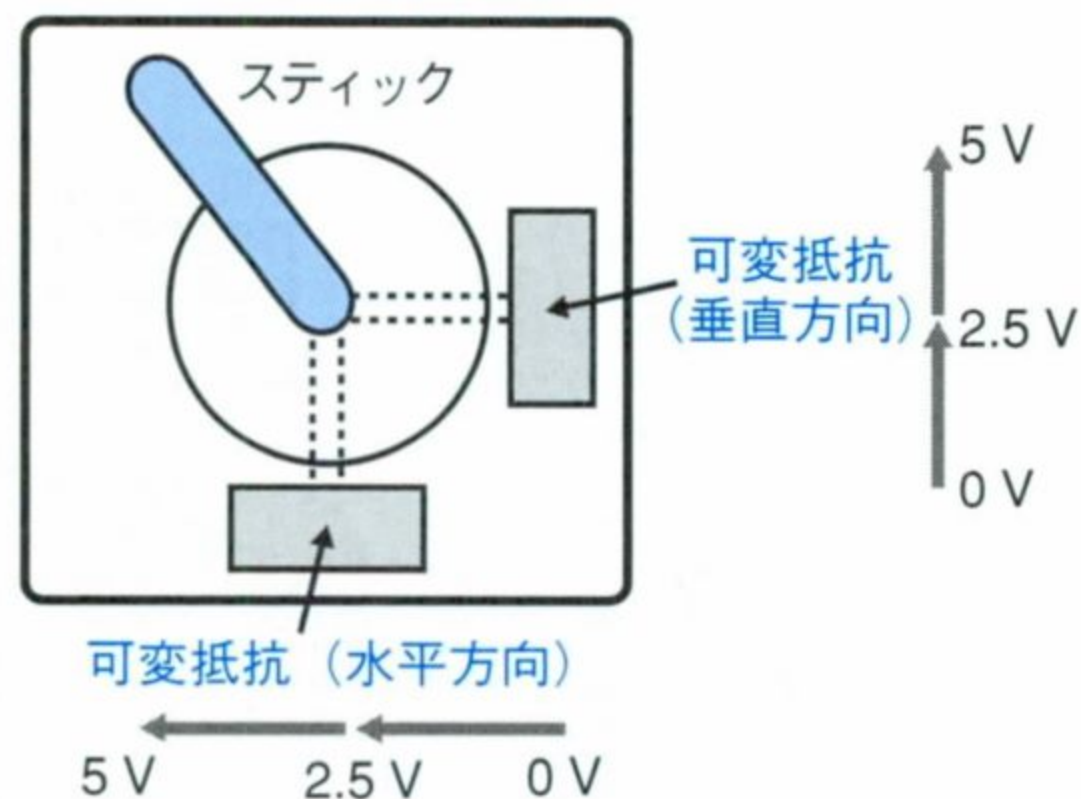
なぜA/D変換モジュールを使うのですか。

〔回答〕

モータを制御するにはPWMモジュールを使いますが、PWM制御するにはデジタル信号でなければなりません。

ジョイスティックを操作して得られるデータはアナログです。これをA/D変換モジュールでデジタル信号に変換し、受信機側のPWMモジュールに使うわけです。

■ジョイスティックの構造

ジョイスティックの構造は、図5.6.2のように操作スティックの根元にあるカムが、それぞれ直角の方向になった2個の可変抵抗に接続されており、それぞれスティックの垂直方向と水平方向の角度に比例した抵抗値を出力するようになっています。

◆図5.6.2 ジョイスティックの内部構成

この可変抵抗の両端を電源とグランドに接続すれば、中央の端子からは、図のように0Vから5Vの範囲でジョイスティックの位置に比例した電圧が取り出せることになります。この電圧出力をPICマイコンのA/D変換モジュールに入力して、位置に比例した10ビットのデジタル値を得ることができます。

この10ビットの値を、受信機側のモータの、パルス幅制御のデューティ値に使えば、そのままモータの速度制御ができることになります。

1 2 3 4 5

参考
8ビット＝2^8＝256
よって扱えるデータは00H～FFH

■前進、後進、可変速を制御する方法

まずデータの扱いを簡単にするため、10ビットを全部使わず、上位8ビットだけ使うことにしました。パルス幅制御の方もやはり8ビットで制御します。256分解能で使うことになりますが、これで十分モータの速度を可変できます。

垂直値は、中心値を境にして、大きい側が前進、小さい側を後進の速度値とします。しかし、中心で速度"0"となるようにして互いに反対方向に速度値が増えるようにする必要がありますから、下記のように変換する必要があります。

アドバイス
Vert＝Virtical
Hori＝Horizon
プログラム中で用いる変数の名前をわかりやすくするために、それぞれの値を"Vert"、"Hori"としました。
プログラム中では、"Vert"は"VData"、"Hori"は"HData"です。

① 垂直側の読み込んだ値（Vert）が80HからFFHまでのとき
（Vert － 80H）×2　の計算を行い、**前進モード**とします。

② 垂直側の読み込んだ値（Vert）が7FHから0のとき
（7FH － Vert）×2　の計算を行い、**後進モード**とします。

これで、前進、後進と可変速が制御できることになります。

■旋回制御する方法

次に、旋回制御は、水平方向の値を、そのままモータ速度の右左の加減速値として使うことにします。このため下記のように制御します。

③ 水平側の読み込んだ値（Hori）が80HからFFHまでのとき
左旋回ということで、（Hori － 80H）の値を、右モータの速度に加算し、左モータの速度から減算します。これで、左右のモータの速度差で左旋回することになります。ただし、最高速度はFFHで最低速度は0という制限があります。

④水平側の読み込んだ値（Hori）が7FHから0のとき
右旋回ということで、（7FH － Hori）の値を、左モータの速度に加算し、右モータの速度から減算します。これで左右のモータの速度差で右旋回することになります。

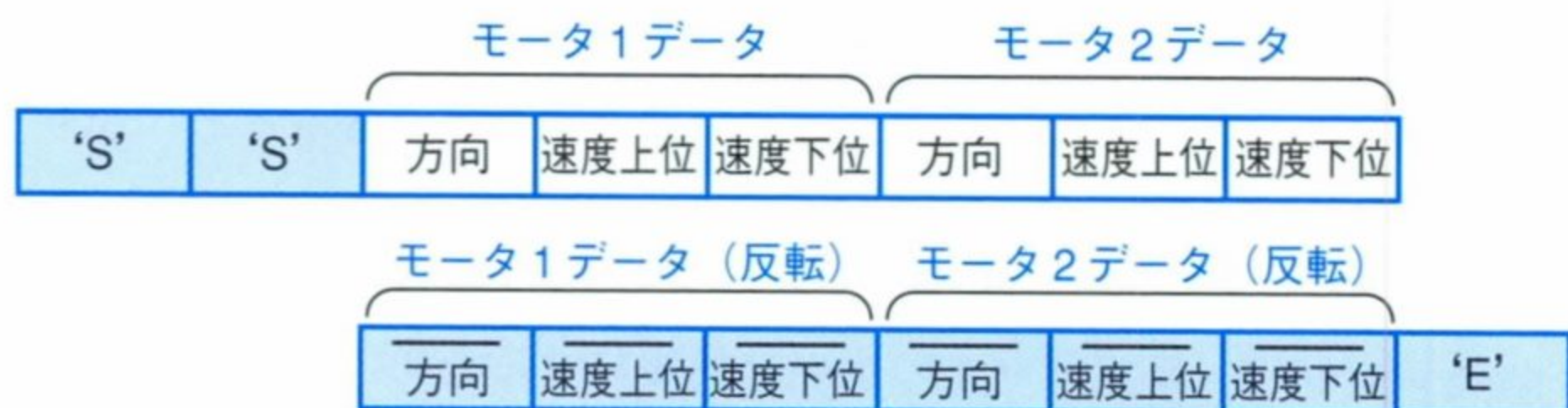
このように速度設定を全て送信機側で実行してしまいますので、受信側では、指定された速度でモータを制御するだけでよく、簡単な制御とすることができます。

5-6-3　無線通信フォーマット

用語解説
・**調歩同期式**
非同期のことで、タイミング用の信号を使わないでデータを送る通信方式。

無線送信の方法ですが、ラジコン車の章で説明したように、図5.6.3のフォーマットで、PICマイコンの内蔵USARTモジュールを使って無線送信モジュールにデータを送信します。通信速度は無線送受信モジュールの制限で2400bpsの**調歩同期式**としています。これで無線送信モジュールから電波として出力されることになります。

		モータ1データ			モータ2データ		
'S'	'S'	方向	速度上位	速度下位	方向	速度上位	速度下位

モータ1データ（反転）			モータ2データ（反転）			
方向	速度上位	速度下位	方向	速度上位	速度下位	'E'

◆図5.6.3　通信データフォーマット

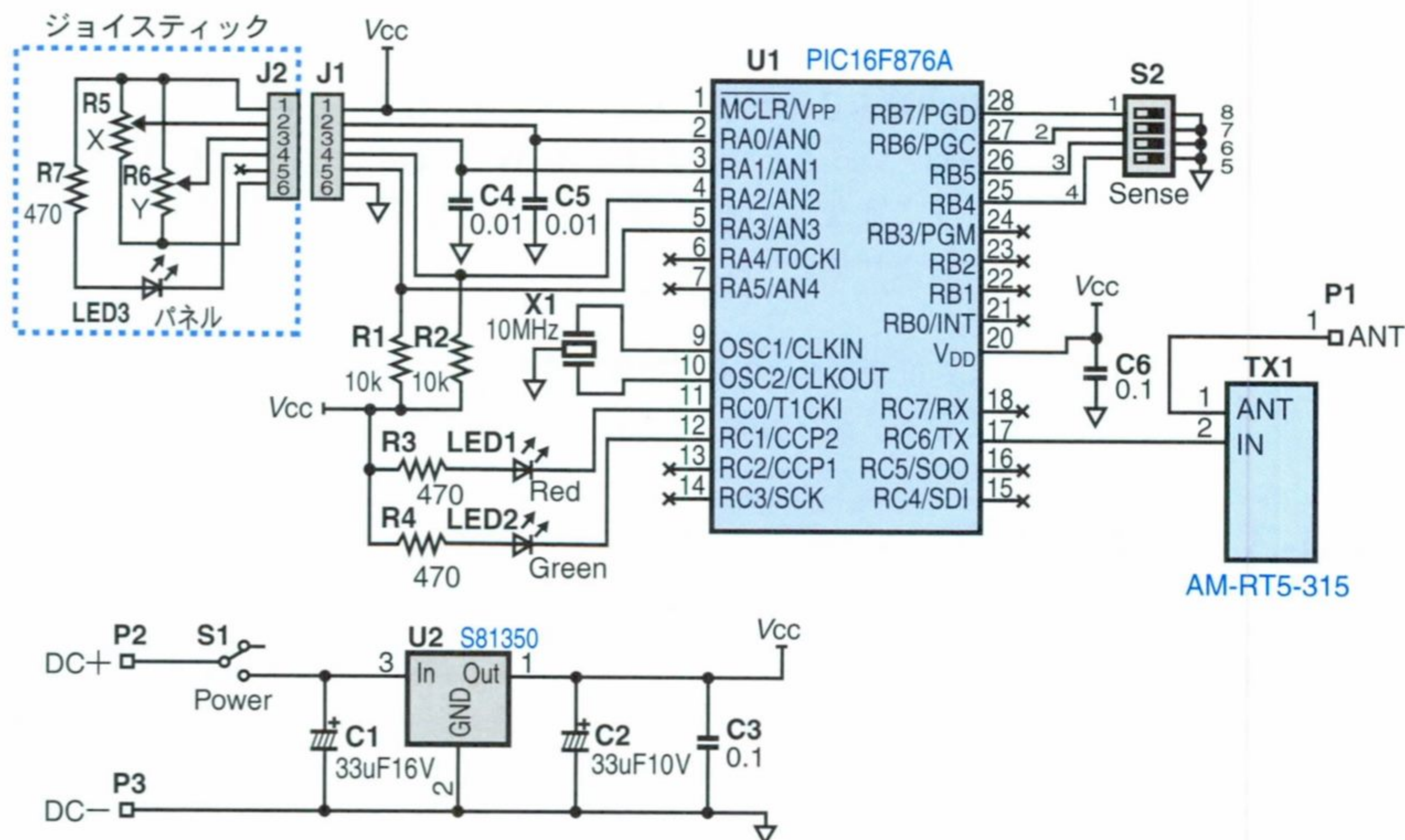
図のようにスタート記号である文字Sを2回送ったあと、モータ1、モータ2の回転方向指定と、そのときのモータ速度値を送信します。速度データについては、バイナリデータそのものではデバッグしにくいので、1バイトのデータを上位4ビットと下位4ビットに分け、それぞれに30Hを加えてASCII文字コードに変換して送信しています。

さらに同じデータの"0"と"1"を反転させたデータを追加して送信し、最後に終わりのマークとして文字Eを送っています。

5-6-4　ラジコン送信機の製作

送信機の回路は図5.6.4のようにしました。PICマイコンPIC16F876Aを中心に構成し、ジョイスティックの可変抵抗の位置を一定時間間隔で入力し、それに対応したコードをシリアル通信で無線送信モジュールから送信するという動作をします。

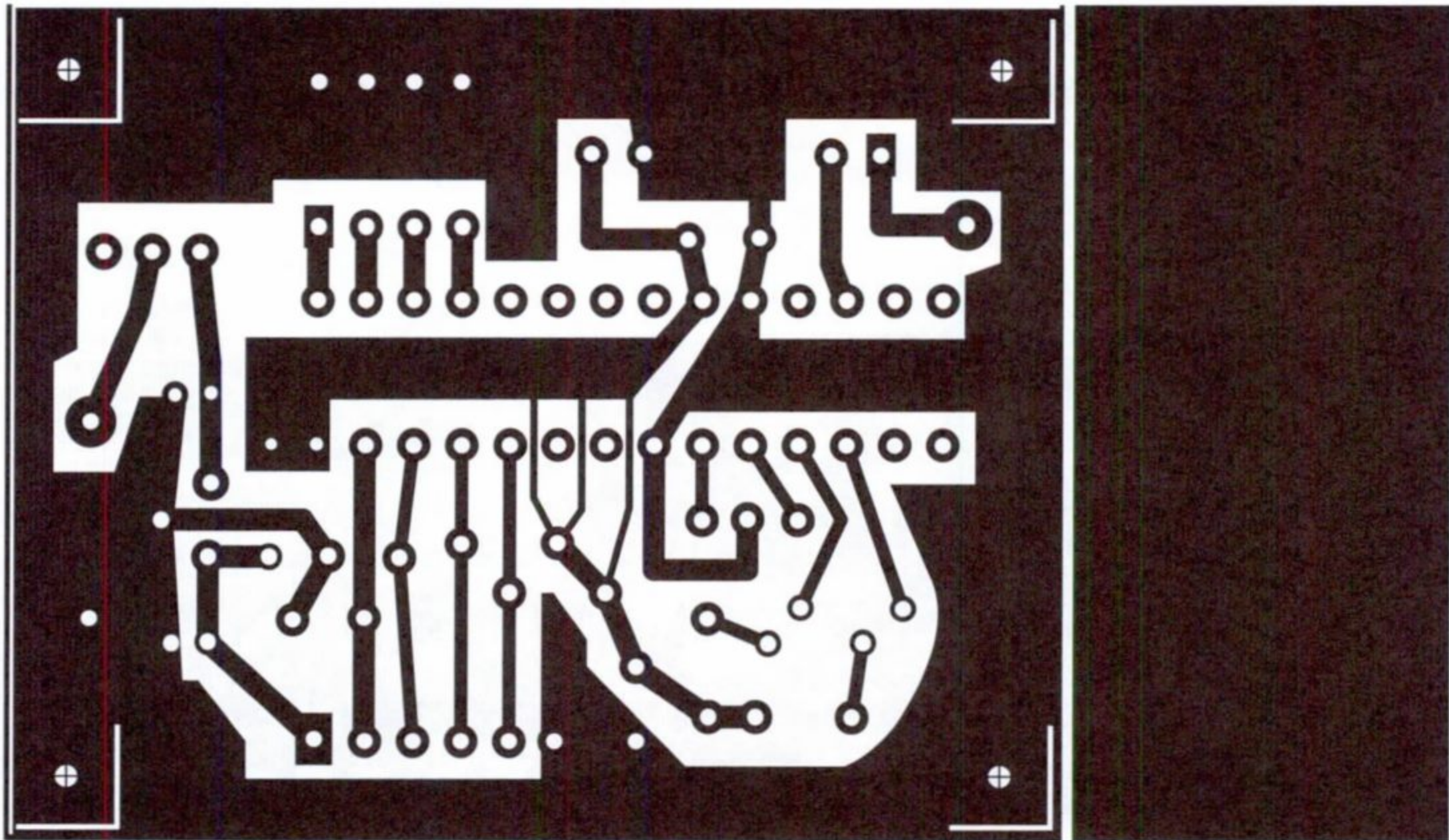
参照
・3端子レギュレータ→p.82

電源には006Pの乾電池を使用し、9Vから5Vを作る3端子レギュレータには低電圧ドロップタイプを使って電池をぎりぎりまで使えるようにします。データ送信にはUSARTを使ってシリアル通信を実現することにします。DIPスイッチがありますが、今回は使っていませんので省略可能です。

◆図5.6.4　送信機回路図

アドバイス

パターンの右の部分は、図のようにベタパターンで塗りつぶしておきます。こうすることでエッチング液の劣化を少なくできます。

穴あけ終了後にアクリルカッターで切断します。

この回路図から基板部のパターン図を作成します。作成したパターン図が図5.6.5となります。小さな基板ですのでユニバーサル基板での作成も容易です。

◆図5.6.5 パターン図

5-6-5 組み立てに必要な部品

組み立てに必要なパーツは表5.6.1となります。特別な部品は無線送信モジュールとジョイスティックくらいですから問題ないでしょう。

アドバイス

スライドスイッチを表に書き忘れてしまいました。

小型スライドスイッチも購入してください。

また、006Pを接続するために、スナップ式のプラグケーブルが必要です。

アンテナは、ピンジャックを利用して取り付けます。

ナット

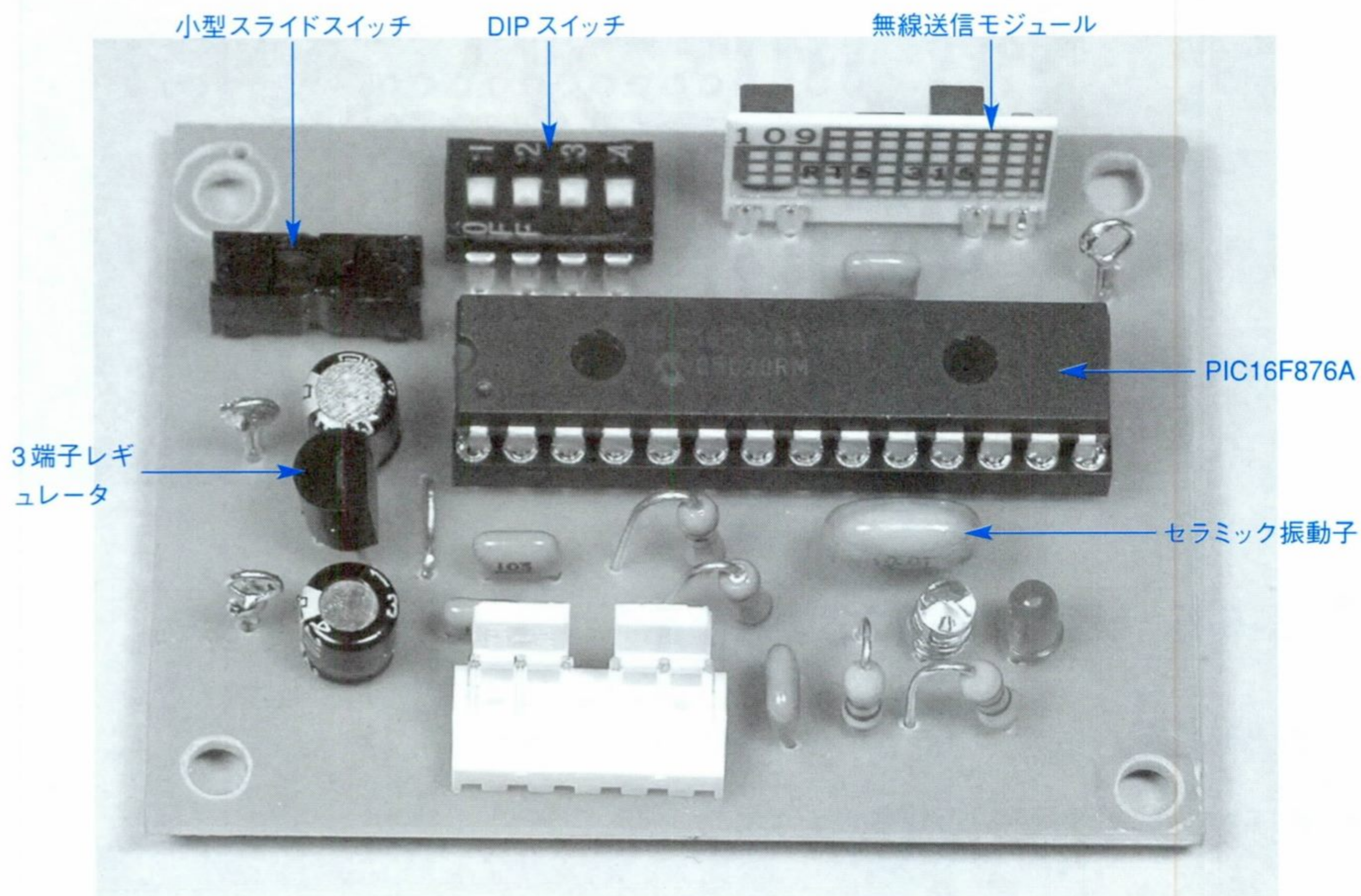
ワッシャー

◆表5.6.1 送信機パーツ一覧

記号	品名	型番・仕様	数量
U1	PIC マイコン	PIC16F876A-20-I/SP	1
U2	3端子レギュレータ	S81350 または 78L05	1
TX1	無線送信モジュール	AM-RT5-315（アイピーアイ社）	1
X1	セラミック振動子	10MHz 3端子型	1
LED1	発光ダイオード	TLR113 3ϕ	1
LED2	発光ダイオード	TLG113 3ϕ	1
LED3	発光ダイオード	パネル型6ϕブラケットつき	1
C4,5	セラミックコンデンサ	0.001μF	2
C1	電解コンデンサ	33μF 16V	1
C2	電解コンデンサ	33μF 10V	2
C3,6	積層セラミックコンデンサ	0.1μF 50V	2
R1,2	抵抗	10kΩ 1/4W	2
R3,4,7	抵抗	470Ω 1/4W	3
R5,6	ジョイスティック	小型10kΩB　ばねリターン式	1
SW1	DIP スイッチ	4P DIP スイッチ	1
J1,2	モレックスコネクタ	6P コネクタソケット、ハウジング	1
	基板	サンハヤト感光基板 10K	1
	IC ソケット	28P スリムタイプ	1
	電池	006P 9V	1
	ケース	タカチ　SX-125A	1
	小物	ねじ、カラー、テストピン等	1

5-6-6 組み立て

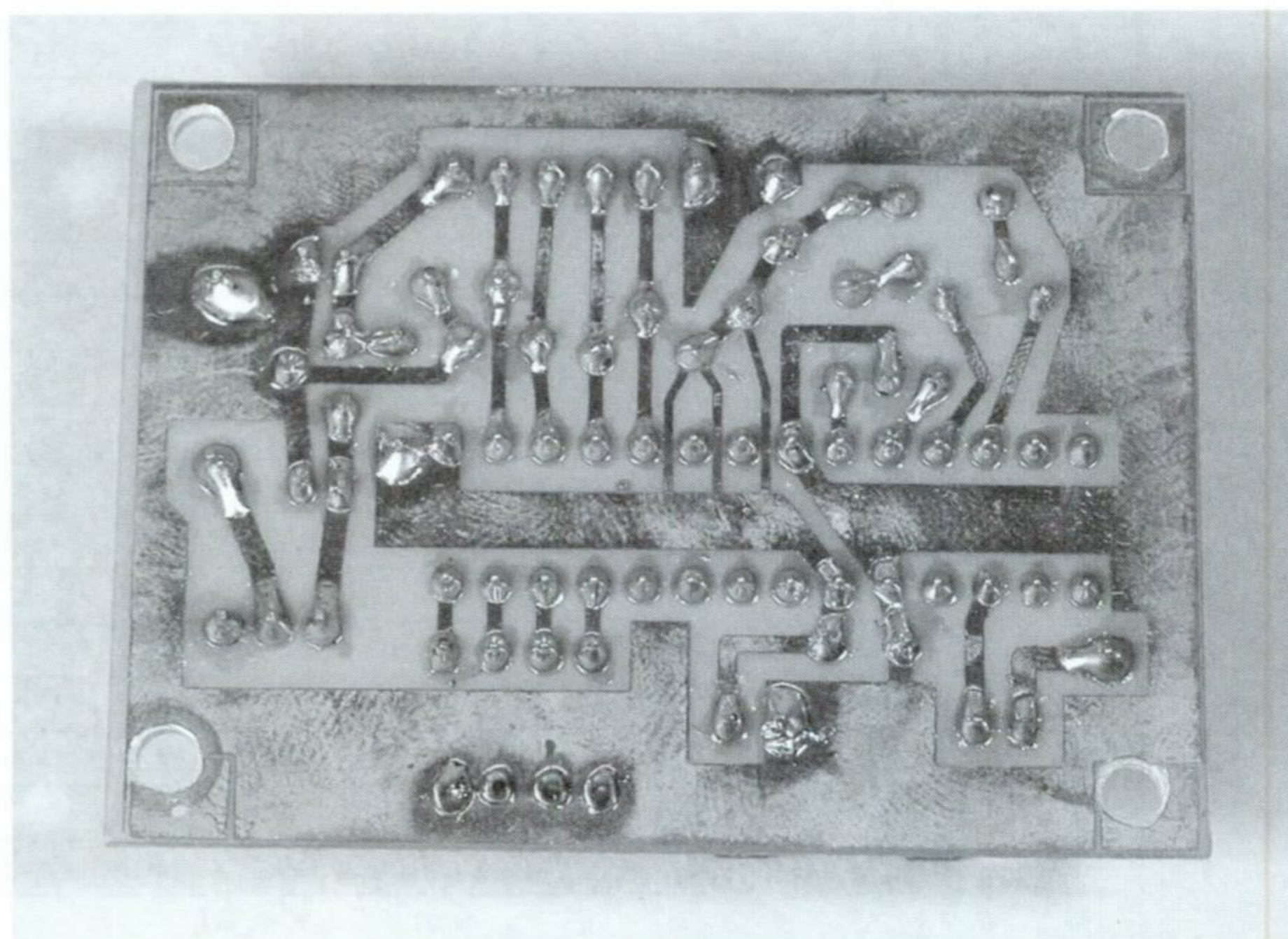
これらを組み立てますが、まず基板の組み立ては部品も少ないので問題はないでしょう。写真5.6.3が基板組み立て完了後の状態です。右上に立っているのが無線送信モジュールです。また写真5.6.4がはんだ面側の状態です。

小型スライドスイッチ
DIP スイッチ
無線送信モジュール
PIC16F876A
3端子レギュレータ
セラミック振動子

◆写真5.6.3 送信機基板完成

アドバイス

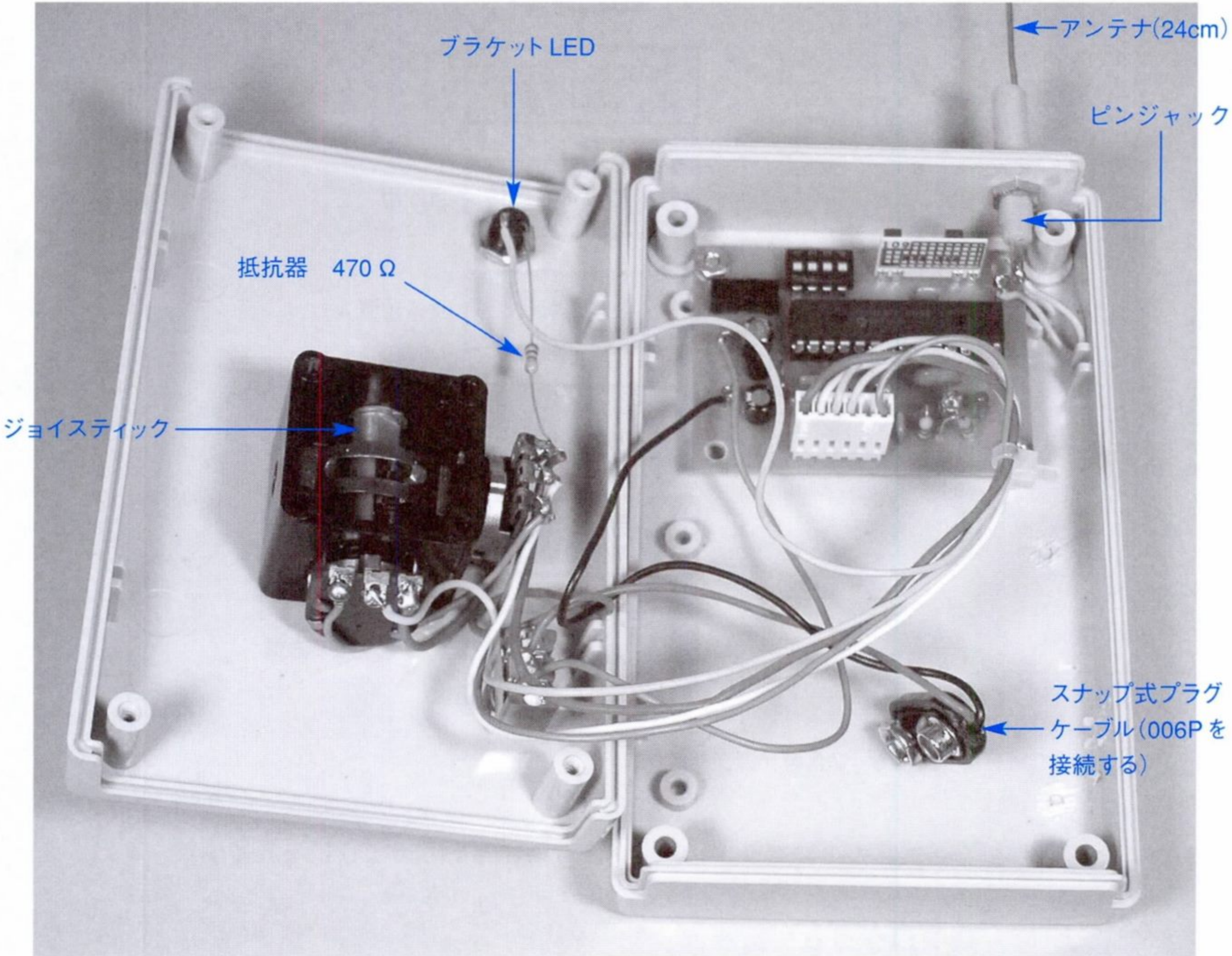
あけ口が斜めになるように、ヤスリで仕上げます。

参考

・アンテナ
2 φのすずメッキ線を利用します(24cm)。
・抵抗器（R7 470 Ω）
写真のように、LEDの極性に注意して空中配線します。

◆写真5.6.4 はんだ面

ケース実装にはプラスティックケースの加工が必要です。まず、ジョイスティックのスティックが十分動かせるよう大き目の丸穴をあけ、あけ口が斜めになるようヤスリで仕上げ、ジョイスティックが十分の角度まで斜めになるようにします。写真5.6.5が組み立て後の状態です。ケース表面には、ジョイスティック以外は、電源スイッチと動作確認用の発光ダイオードだけです。

側面にアンテナ用のピンジャックを取り付けています。

アンテナ(24cm)
ブラケットLED
ピンジャック
抵抗器　470 Ω
ジョイスティック
スナップ式プラグケーブル(006Pを接続する)

◆写真5.6.5　送信機組み立て状態

5-6-7　送信ユニットのプログラム

アドバイス

プログラムは、PICマイコンに書き込んで利用します。PICマイコンへの書き込み方法は本書では解説しておりません。PIC関連書籍をご覧ください。

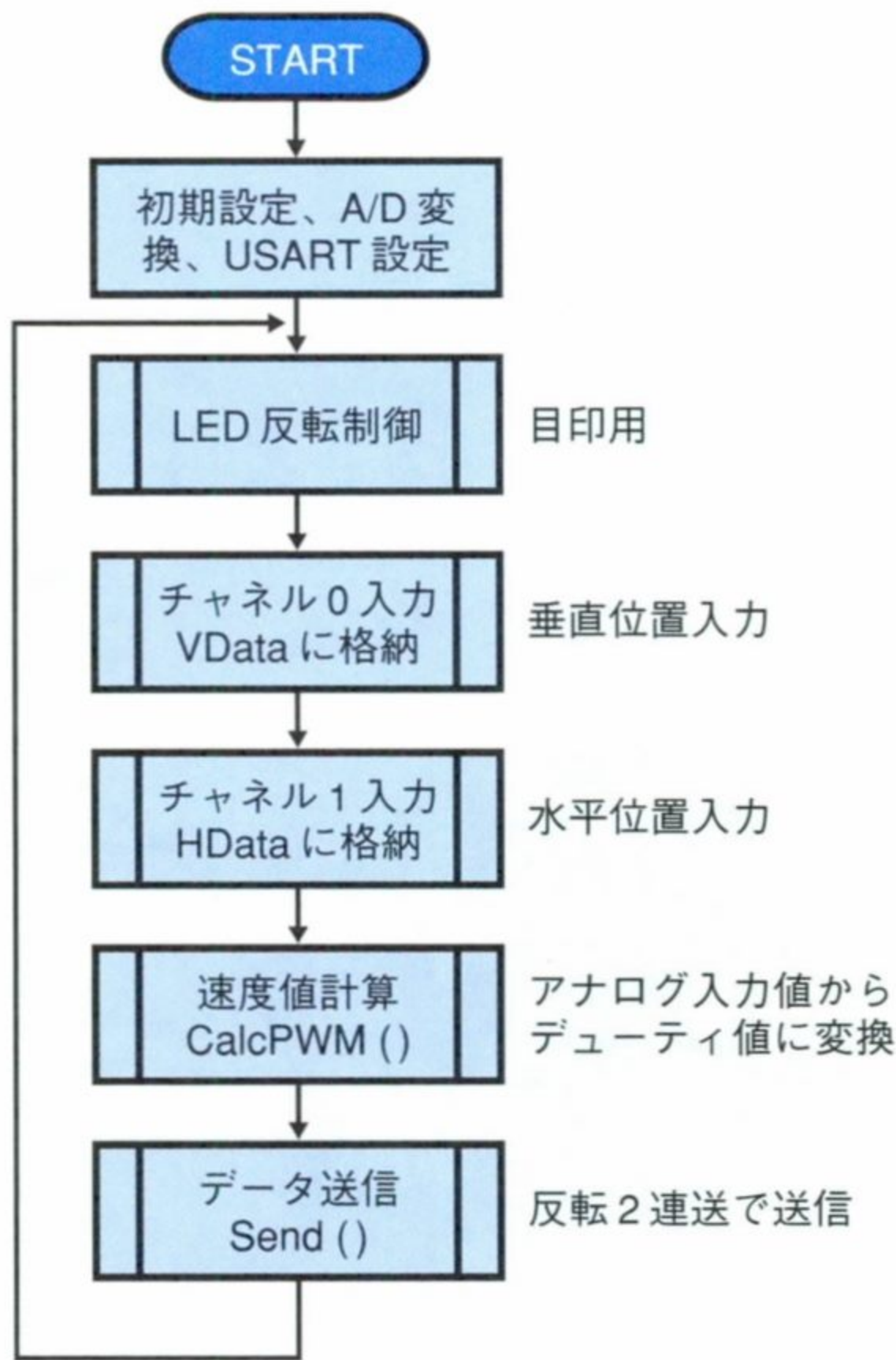
なお、ここで紹介したプログラムは、技術評論社のホームページまたは筆者のホームページからダウンロードできます。

送信機のプログラムは、C言語で作成しています。USARTやA/D変換などの内蔵モジュールを利用していますので、簡単に高機能を実現することができます。

■プログラム全体のフロー

送信機のプログラム全体のフローは、図5.6.6のようになっています。単純な繰り返し動作となっていて、すべてメインフローの流れのなかで繰り返しています。まず最初に2チャネルのアナログ入力を実行します。これでジョイスティックの現在値を読み取ることになります。次に読み取ったデータの垂直成分、つまりチャネル0のデータから、速度用のデューティ値を求めます。

次に水平成分、つまりチャネル1のデータを旋回用のデータとして、速度のデューティ値に加減算します。これで、2台のモータの速度値が求められたことになりますので、通信フォーマットに合わせて無線モジュールに出力します。送信が完了したら、すぐ再度最初から繰り返します。この最後で発光ダイオードの反転制御をして、点滅させるようにしています。

START
初期設定、A/D変換、USART設定
LED反転制御 — 目印用
チャネル0入力 VDataに格納 — 垂直位置入力
チャネル1入力 HDataに格納 — 水平位置入力
速度値計算 CalcPWM () — アナログ入力値からデューティ値に変換
データ送信 Send () — 反転2連送で送信

◆図5.6.6 送信機プログラムフロー

送信部のプログラムは、リスト5.6.1(a)(b)(c)のようになります。

■プログラム：宣言部

用語解説

・メイン関数
C言語のプログラムには必須の関数。全体で1個だけ存在する。

・グローバル変数
大域変数ともいい、全域に有効な変数。

リスト5.6.1(a)は宣言部とメイン関数です。まずコンフィギュレーション設定とグローバル変数の宣言定義をしています。メイン関数では各モジュールの初期設定をし、メインループではジョイスティックのデータを読み込み、2個のモータのPWM値に変換したあとで、送信をしています。

リスト5.6.1(a)　宣言部とメイン関数部

```
/******************************************************
*  ラジコンロボット送信機プログラム
*   ジョイスティックのデータをA/Dで入力し、USARTで送信し無線出力
******************************************************/
#include <16F876A.h>
#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,PUT,BROWNOUT,NODEBUG,NOLVP
#device ADC=10                          // A/D変換10ビットモード
/// USART初期設定
#use delay(CLOCK = 10000000)
```

コンフィギュレーション設定

USART初期設定

グローバル変数の宣言定義

入出力ポートの初期設定

A/D コンバータの初期設定

CH0 入力 Vert へ格納（速度）

CH1 入力 Hori へ格納（旋回）

速度用デューティ値計算

無線送信出力

```
#use rs232(BAUD = 2400, XMIT = PIN_C6, RCV = PIN_C7, ERRORS)
//// 変数定義
charDir, SendBuf[6];
unsigned long   HData, VData;
unsigned long   Duty, Duty1, Duty2;
/// プロトタイピング
void CalcPWM(void);
void Send(void);

//// メイン関数
void main(void)
{
    //// ポート初期設定
    set_tris_c(0x80);                  // ポートCはUSART受信以外全て出力
    set_tris_b(0xF0);                  // ポートB上位入力下位出力(未使用)
    set_tris_a(0x0B);                  // ポートAN0,AN1,AN3アナログ入力
    port_b_pullups(TRUE);              // ポートBのプルアップオン
    output_low(PIN_C0);                // LED0点灯
    /// ADコンバータの初期設定
    setup_adc_ports(AN0_AN1_AN3);      // RA0,RA2,RA3ピンがアナログ入力
    setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_32);       // Fosc/32 速度設定
    /// メインループ
    while(1)
    {
        /// LED 制御
        output_toggle(PIN_C1);
        output_toggle(PIN_A2);
        /// ジョイスティックのデータ入力
        set_adc_channel(0);            // チャネル0選択
        delay_us(20);                  // アクイジション待ち
        VData = read_adc();            // A/D変換データ10ビット読み込み
        set_adc_channel(1);            // チャネル1選択
        delay_us(20);                  // アクイジション待ち
        HData = read_adc();            // A/D変換データ10ビット読み込み
        /// モータPWM値計算
        CalcPWM();                     // PWMを求める
        /// 送信
        Send();                        // 無線送信実行
    }
}
```

■モータを制御するサブ関数

リスト5.6.1(b)は、ジョイスティックのY方向（垂直方向）のデータを2個のモータの速度に変換し、さらにジョイスティックのX方向（水平方向）のデータを旋回データに変換して、両方のモータの速度変更をするサブ関数です。

用語解説

・アクイジション

チャネル選択をした後、A/Dコンバータ内部のコンデンサに完全に充電されるまで待つ時間。

リスト5.6.1(b) PWM計算サブ関数

10ビットデータを8ビットに縮小

前進、後進の判定

(VData－80H)×2を設定する

(7FH－VData)×2を設定する

左右の判定

左旋回
Hori－80Hを
Duty2から減算
Duty1に加算
上下限リミット

右旋回
7FH－Horiを
Duty1から減算
Duty2に加算
上下限リミット

```
/************************************
* PWM値計算サブ関数
************************************/
void CalcPWM(void)
{
    VData = VData >> 2;             // 8ビットに補正
    HData = HData >> 2;
    /// 速度設定
    /// 00-7F バック  7Fのとき速度0、 80-FF 前進   80のとき速度0
    if(VData >= 0x80) {             // 0x80以上か？
        /// 前進
        Dir = '0';                  // 方向前進設定
        Duty = (unsigned long)((VData - 0x80) * 2);
    }
    else {                          // 0x7F以下の場合
        /// 後進
        Dir = '1';                  // 方向後進設定
        Duty = (unsigned long)((0x7F - VData) * 2);
    }
    //// 旋回制御
    if(HData >= 0x80) {             // 0x80以上か？
        /// 左旋回  Duty1を増加  Duty2を減少
        HData = Hdata - 0x80;       // 差分
        if(Duty < HData)            // Duty2設定
            Duty2 = 0;              // Duty-HData  負なら0に制限
        else
            Duty2 = Duty - HData;
        Duty1 = Duty + HData;       // Duty1設定
        if(Duty1 > 0xFF)
            Duty1 = 0xFF;           // 0xFF以下に制限
    }
    else {
        /// 右旋回  Duty1を減少  Duty2を増加
        HData = 0x7F - HData;       // 差分
        if(Duty < HData)            // Duty1設定
            Duty1 = 0;              // Duty-HDAta  負なら0に制限
        else
            Duty1 = Duty - HData;
        Duty2 = Duty + HData;       // Duty2設定
        if(Duty2 > 0xFF)
            Duty2 = 0xFF;           // 0xFF以下に制限
    }
}
```

■データ送信サブ関数

リスト5.6.1(c)は送信データフォーマットに沿って必要なデータを順次送信するサブルーチンです。8ビットの速度データは上位と下位の4ビットに分け、それぞれに0x30を加えて文字コードとした上で送信しています。これで、MPLAB IDEでデバッグするとき、USARTのシミュレーションの送信データを文字として確認できますからデバッグがやりやすくなります。

リスト5.6.1(c)　データ送信サブ関数

```
/********************************
* データ送信サブ関数
********************************/
void Send(void)
{
    int i;
    /// 送信データ作成
    SendBuf[0] = Dir;                      // モータ1 方向データ
    SendBuf[1] = (Duty1/0x10)+0x30;        // PWM上位4ビット
    SendBuf[2] = (Duty1%0x10)+0x30;        // PWM下位4ビット
    SendBuf[3] = Dir;                      // モータ2 方向データ
    SendBuf[4] = (Duty2/0x10)+0x30;        // PWM上位4ビット
    SendBuf[5] = (Duty2%0x10)+0x30;        // PWM下位4ビット
    /// データ送信開始
    putc('S');                             // 文字S送信
    putc('S');
    for(i=0; i<6; i++) {
        putc(SendBuf[i]);                  // モータデータ送信
    }
    for(i=0; i<6; i++) {
        putc(~SendBuf[i]);                 // 反転データ送信
    }
    putc('E');                             // 文字E送信
}
```

送信データの生成
4ビットごとに
文字に変換

反転データ送信

5-6-8　動作テストと調整

送信機の動作テストは、PICマイコンを実装しない状態から始めます。

・電源電圧の確認

電源をオンとして電源電圧が5Vあることをテスタで確認します。

・発光ダイオードのテスト

PICマイコンのソケットのところで、発光ダイオードに接続されているピンを仮にグランドに接続すれば点灯するはずです。

・スイッチの確認

対応するピンの電圧をテスタで計測し、常時は5Vでスイッチを押している間0Vになることでチェックします。

・ジョイスティックのテスト

コネクタを接続してから電源をオンとし、PICマイコンのソケットの対応するピンをテスタで測定し、ジョイスティックを動かすと電圧が0Vから5Vの範囲で変わることを確認します。これで単体として動作していることは確認できます。

・PICマイコンを実装しての確認

次は、PICマイコンにプログラムを書き込んで実装してから行います。電源オンで発光ダイオードが点滅すれば基本的な動作は正常に動いています。

■無線送信のテスト

ここで前章で製作したラジコン車と組み合わせてテストします。両方のユニットにアンテナを接続した上で、両方の電源をオンとし、ジョイスティックを動かせばモータが動くはずです。

モータの動く方向と速度変化の方向が設計どおりであればこれで完了です。期待通りに動かない場合には、コネクタの接続が間違っていないかチェックします。

用語解説

・センススイッチ
設定条件を変更するためのスイッチ。スイッチ状態を読み込むことをセンスするというためこう呼ばれる。

以上でラジコンロボットが完成です。

送信機、受信ユニットにはセンススイッチがついていて、今回は未使用ですが、このスイッチをアドレスとして使用するようにすれば、同じ電波でアドレス指定することで複数のロボットを制御することができます。これらの拡張は読者の挑戦に期待することとします。

COLUMN PICマイコン

マイクロコントローラとしてPICマイコンシリーズを使用しました。このPICは米国マイクロチップテクノジー社が開発した小型ワンチップマイクロコンピュータで、フラッシュメモリのプログラムメモリを内蔵していて外部にクロック発振用の素子を接続するだけでマイクロコンピュータとして動作します。

最近、多方面でよく使われているもので、チップそのものも百円から千円程度で安価であること、プログラムを開発するための道具もフリーソフトで提供されていたり、プログラムを書き込むためのライタも自作したりキットで販売されていたりと、安価に開発環境を揃えられるためアマチュア工作にはもってこいのものです。

PICマイコンには多種類のシリーズがありますが、本書で使用したものは、PIC16F876Aという最もよく使われているシリーズですので容易に入手できます。

本書では紹介しませんでしたが、8ピンのPICマイコンもありますので、簡単な工作からチャレンジしたい方は8ピンPICから始めるのもいいかもしれません。

・PIC12F675／PIC12F683

PIC12F675：アナログ電圧の入力が可能なA/Dコンバータが内蔵された8ピンPIC。

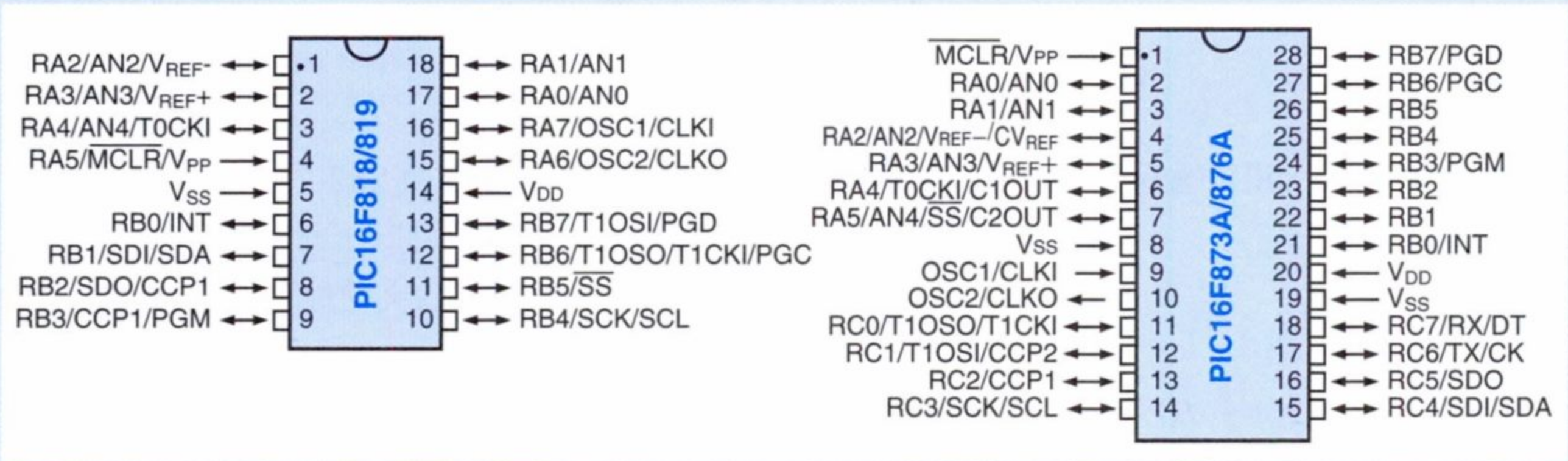
PIC12F683：A/Dコンバータに加え、パルス幅変調（PWM）出力機能も内蔵された8ピンPIC。

・**PIC16F819**

18ピンのPICで安価ですが、内部にはタイマやA/Dコンバータ、CCPなど多くのモジュールが内蔵されている。入出力ピンは1ピンごとに入力か出力かが設定できるようになっているので、非常に便利に使える。

・**PIC16F876A**

さらに高機能となっていて、アナログのA/D変換器やシリアル通信用USART、3種類のタイマ、パルス幅制御機能などが内蔵されている。入出力ピンも23ピンとなっている。

このような高機能なマイクロコントローラがわずか千円以下で入手できます。各種の内蔵モジュールを使うことでいろいろなことが可能となります。

◆図　PICのピン配置

PICの内部構成、PIC12F675／PIC12F683のピン配置はデータシート（米マイクロチップのホームページで閲覧可能）で確認できます。

PICの機能仕様や使い方の詳細についても、下記で入手できます。また拙著の書籍も参考にしてください。

1. Microchip Technology Inc.　Web Sight
　http://www.microchip.com/
2. 日本マイクロチップテクノロジ社　ホームページ
　http://www.microchip.co.jp/
3. 筆者ホームページ
　http://www.picfun.com/
4. 拙著
　「改訂版 電子工作のためのPIC16F活用ガイドブック」技術評論社
　「8ピンPICマイコンではじめる 作る、できる 電子工作入門」技術評論社
　「デジタルアンプキット＋PICマイコンではじめる 電子工作」技術評論社

部品の入手先

本書で製作に使った部品の主な入手先は下記となっています。2007年3月現在での情報です。通信販売での購入も可能です。購入方法は、各店のホームページにてご確認ください。

（株）秋月電子通商

秋葉原店： 〒101-0021　東京都千代田区外神田1-8-3　野水ビル1F
TEL：03-3251-1779
FAX：03-3251-3357
（定休日：月・木）

川口通販センター： 〒334-0063　埼玉県川口市東本郷252
TEL：048-287-6611（通販のお問い合わせ）
FAX：048-287-6612（24時間注文受付）
（定休日：土・日・祝日）

ホームページ： http://akizukidenshi.com/

【入手可能部品（通販可）】

各種工作キット、液晶表示器、抵抗、コンデンサ、セラミック振動子、PICマイコン各種、オペアンプIC、PICプログラマキット、ACアダプタ、他

サトー電気

町田店： 〒194-0022　東京都町田市森野1-35-10
（火曜定休）
TEL：042-725-2345

横浜店： 〒222-0035　横浜市港北区鳥山町929-5-102
（火曜定休）
TEL：045-472-0848

川崎店（通販）： 〒210-0001　川崎市川崎区本町2-10-11
（土・日・祝定休）
TEL：044-222-1505
FAX：044-222-1506

ホームページ： http://www2.cyberoz.net/city/hirosan/jindex.html

【入手可能部品】

EジスPen、半導体部品各種、プリント基板自作パーツ、ケース、クリスタル振動子、コネクタ、抵抗、コンデンサ、小物パーツ、オペアンプIC、デジタルIC、他

株式会社 千石電商

秋葉原本店：　〒101-0021　東京都千代田区外神田1-8-5　毛利ビル
・店舗：03-3253-4411 <問い合わせ時間>10：30～18：30
・通販：03-3253-4488 <受付時間>11：00～18：00
・FAX：03-3253-4108（年末年始を除き、24時間受信）

ホームページ　：http://www.sengoku.co.jp/index.htm

【入手可能部品（通販可）】

PICマイコン、センサー、RCサーボ、モータ、基板、工具、抵抗、コンデンサ、小物部品、リチウムイオン電池、エレキット他

株式会社 若松通商

秋葉原本店：　〒101-0021　東京都千代田区外神田4-7-3　若松通商ビル
TEL：03-3257-9431
FAX：03-3257-9432
営業時間：10：30～20：30

ホームページ：　http://www.wakamatsu-net.com/biz/

【入手可能部品（通販可）】

電子部品、メモリ、オーディオ関連商品（キット、部品）、工具他

有限会社データダイナミクス

所在地：　〒579-8052　東大阪市上四条町3-2　エスペランサⅠ-101
TEL：072-981-6332

ホームページ：　http://www.datadynamics.co.jp/

【入手可能部品（通販）】

CCS社Cコンパイラ、純正PICプログラマ、PICエミュレータ、他

株式会社 アイ・ピイ・アイ

所在地：　〒305-0035　茨城県つくば市松代3-19-4

ホームページ：　http://www.ipishop.com/

【入手可能部品（通販）】

PICマイコン（dsPICシリーズなど）、PIC部品関係、PIC開発ツール、他

索引

数字

欧文

ア

カ

サ

タ

ナ

ハ

マ

ヤ

ラ

■ 著者略歴

後閑哲也 Tetsuya Gokan

1947年　愛知県名古屋市で生まれる
1971年　東北大学 工学部 応用物理学科卒業
1996年　ホームページ「電子工作の実験室」を開設
子供の頃からの電子工作の趣味の世界と、仕事としているコンピュータの世界を融合した遊びの世界を紹介。
2003年　有限会社マイクロチップ・デザインラボ設立
「PIC16F活用ガイドブック」、「C言語によるPICプログラミング入門」、「8ピンPICマイコンではじめる 作る、できる 電子工作入門」、「デジタルアンプキット＋PICマイコンではじめる 電子工作」他。

Email　gokan@picfun.com
URL　http://www.picfun.com/

カバーデザイン ◆ 小島トシノブ＋齋藤四歩（NONdesign）
カバーイラスト ◆ 栂岡一孝
本文・帯イラスト ◆ 田中斉
本文デザイン・組版 ◆ SeaGrape

作る・できる／基礎入門
電子工作の素

平成19年5月10日　初 版　第1刷発行

著　者　後閑哲也
発行者　片岡　巌
発行所　株式会社技術評論社
東京都新宿区市谷左内町21-13
電話　03-3513-6150　販売促進部
03-3267-2270　書籍編集部
印刷／製本　昭和情報プロセス株式会社

定価はカバーに表示してあります。

ISBN978-4-7741-3078-1 C3055

Printed in Japan

■ お願い

本書に関するご質問については、本書に記載されている内容に関するもののみとさせていただきます。本書の内容と関係のないご質問につきましては、一切お答えできませんので、あらかじめご了承ください。また、電話でのご質問は受け付けておりませんので、FAXか書面にて下記までお送りください。
なお、ご質問の際には、書名と該当ページ、返信先を明記してくださいますよう、お願いいたします。

宛先：〒162-0846
東京都新宿区市谷左内町21-13
株式会社技術評論社
書籍編集部
「電子工作の素」係
FAX：03-3267-2269

ご質問の際に記載いただいた個人情報は、質問の返答以外の目的には使用いたしません。また、質問の返答後は速やかに削除させていただきます。

■ ご注意

本書に掲載した回路図、パターン図、プログラム、技術を利用して製作した場合生じた、いかなる直接的、間接的損害に対しても、弊社、筆者、編集者、その他製作に関わったすべての個人、団体、企業は一切の責任を負いません。あらかじめご了承ください。